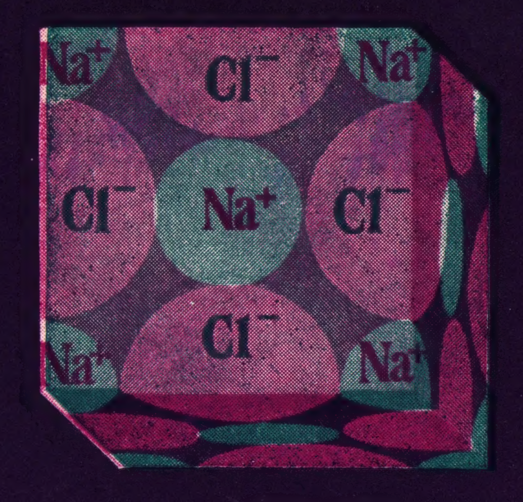


Н. А. Будрейко

ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ ХИМИИ

Издательство „Высшая школа"

Н. А. БУДРЕЙКО

ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ ХИМИИ

Допущено отделом преподавания общественных наук Министерства высшего и среднего специального образования в качестве учебного пособия для студентов химических факультетов университетов, педагогических институтов и вузов химического профиля.



Издательство „Высшая школа“ Москва, 1970

Николай Андреевич Будрейко

ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ ХИМИИ

Редактор И. И. Головин
Переплет художника К. И. Чистякова
Худож. редактор С. Г. Абелин
Техн. редактор С. П. Передерий
Корректор М. М. Сапожникова

А-05407 Сдано в наб. 11/VIII—69 г. Подп. к печ. 20/I—70 г.
Формат 84×108/32 Объем 10,5 печ. л. 17,64 усл. п. л.
Уч.-изд. л. 17,28 Изд. № Общ-586 Тираж 15 000 экз.
Цена 75 коп.

Тематический план издательства «Высшая школа»
(вузы и техникумы) на 1969 год. Позиция № 5.

Москва, К-51, Неглинная ул. 29/14,
Издательство «Высшая школа»

Московская типография № 8 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР,
Хохловский пер., 7. Зак. 4560

1—5—1
5—69

От автора

Спецкурс «Философские вопросы химии» представляет собой цикл лекций, читанных на протяжении ряда лет студентам и аспирантам Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева. Спецкурс не дублирует основной курс марксистско-ленинской философии, а, опираясь на него, рассматривает некоторые важнейшие философские вопросы химии.

Автор ставил своей задачей раскрыть, насколько это было в его силах, диалектику в химии, философский смысл важнейших ее законов и теорий, выяснить специфику действия и проявления всеобщих законов и категорий диалектики в химической форме движения материи, показать некоторые особенности развития современной химической науки, методов ее исследования, связь с другими основными разделами естествознания. Автор остановился на данной структуре спецкурса, как наиболее удовлетворяющей, по его мнению, методическим требованиям и уровню специальной и философской подготовки студентов и аспирантов-химиков первого года обучения, готовящихся к сдаче кандидатского минимума по философии.

Автор выражает глубокую признательность докторам философских наук В. С. Готту, Н. В. Пилипенко, докторам химических наук М. Х. Карапетьянцу, Б. И. Степанову, профессорам и преподавателям химических кафедр и кафедр философии естественных факультетов МГУ им. М. В. Ломоносова, ЛГУ им. А. А. Жданова, МОПИ им. Н. К. Крупской, МХТИ им. Д. И. Менделеева и сотрудникам института истории естествознания и техники АН СССР, принимавшим участие в обсуждении этой работы и сделавшим ряд ценных замечаний.

ВВЕДЕНИЕ

Революция в естествознании на рубеже XIX—XX вв. открыла эпоху в развитии науки. Ныне химик не может иметь туманное представление о биологии и довольствоваться поверхностным знакомством с физикой. В современной науке идет интенсивный процесс дифференциации и интеграции. Размываются, казалось бы, непроходимые границы между химией, физикой, биологией и другими науками, каждая из которых долгое время развивалась своим обособленным путем. На стыках наук совершаются самые неожиданные открытия, а подчас наиболее эффективные результаты получают именно тогда, когда методы исследования одной науки применяются в области другой. Возникновение новых промежуточных отраслей, взаимопроникновение и взаимовлияние наук в процессе развития знания все ярче и глубже отражает объективное единство материального мира, вскрывает общие для всех явлений природы закономерности.

Успешное овладение этими закономерностями, научным методом познания зависит от мировоззрения, основой которого является марксистская философия. Только мировоззрение, основанное на принципах научной философии, обеспечивает необходимую широту мышления, способность представлять общий фронт наук во всей их динамике, взаимосвязи и взаимообусловленности. Это позволяет ученому выйти за узкоспециальные рамки своей отрасли знаний, по-новому подойти к ней и более успешно двигать ее дальше.

Научная философия придает развитию современного естествознания огромную мощь. В этом отношении весьма характерным является, например, признание крупнейшего французского физика П. Ланжевена: «Я отдаю себе

отчет в том, что хорошо понял историю физики только с того времени, как я познакомился с основными идеями диалектического материализма»[1], или английского биолога Холдейна, сделанное во введении к переведенной им на английский язык книге Ф. Энгельса «Диалектика природы». Он писал там, что если бы он был знаком с этой работой раньше, то по-иному осмыслил бы некоторые идеи в биологии.

Ныне необходимость союза философии и естествознания не вызывает сомнения. Причем эту связь признают представители самых различных течений в философии. Даже идеализм и религия пытаются искать в науке союзника, использовать в своих интересах новейшие достижения естествознания.

Взаимосвязь между философией и естествознанием осуществляется сейчас на более высокой ступени их развития. Это объясняется познанием новых, более сложных объектов, все более широко развертывающимися исследованиями на микроуровне в области как неживого, так и живого. Современные научные теории в связи с этим становятся более абстрактными, в них отсутствует столь привычная в понятиях и представлениях прошлого наглядность. Роль самого теоретического мышления еще более возрастает. Оно становится относительно самостоятельнее и во все увеличивающейся степени направляет опыт, предваряет его. Это обстоятельство используется также для разного рода идеалистических извращений. Сравнительно легче становится утверждать, что теория обладает абсолютной самостоятельностью, доказывать, что отсутствие наглядности есть подтверждение несостоятельности научного познания, неспособности его давать объективное отражение материальных взаимосвязей.

Для разоблачения порочных исходных позиций спекулятивной философии необходимо глубже осмыслить и раскрыть существо ряда проблем и явлений, характерных для новейшего естествознания. Следует прежде всего показать характер современной научной абстракции, новые особенности экспериментальных измерений, логические методы обработки данных опытов, место и роль в естественнонаучном познании математики, моделирования, кибернетики и т. д. Это неизбежно требует глубокого зна-

---

[1] «La Pensée», 1947, № 12, p. 11.

ния материалистической диалектики, этого, по выражению Энгельса, «сильнейшего орудия труда». Однако успех исследованию приносит глубокое знание специфических форм проявления всеобщих принципов и законов развития в данной области науки, умение пользоваться ими, сознательно сочетать общие философские принципы с конкретным, скажем, химическим материалом.

Единство материального мира, все более и более ярко раскрывающееся через единство изучающих его наук, как раз и выражается в тесной взаимосвязи всеобщих принципов и законов развития с законами и положениями специальных наук. Эти принципы и законы выступают в отношении друг к другу как часть и целое, как единичное, особенное и общее. Их взаимосвязь объективно кроется в самой сущности философии и естественных наук, лишь отражающих в процессе познания в специальных понятиях, законах и теориях, своими особыми средствами и методами диалектику природы.

Своим конкретным содержанием химия, как и другие науки, начиная с издавна установленных фактов и законов и кончая новейшими теориями, находится в органической связи с научной философией, ее общими принципами и законами. Закон сохранения массы (веса) вещества, теория Бутлерова с ее центральным положением о связи строения и свойств, законы (количественные) стехиометрии, учение о единстве прерывности и непрерывности в составе химических соединений, наконец, периодический закон — основа современной химии — выступают как частные, естественнонаучные выражения принципов философии о несотворимости и неуничтожимости материи, о материальном единстве мира, о связи и взаимообусловленности всех его частей. Факты, законы и теории химии предоставляют неоспоримые естественнонаучные доказательства основных положений диалектики.

При изучении химической формы движения ярко проявляется в конкретном виде всеобщий закон диалектики о скачкообразных, качественных превращениях в результате количественных изменений. Исследование химических явлений помогает раскрыть суть, «ядро диалектики» — закон единства и борьбы противоположностей, — указывает на характер и направление развития процессов путем диалектического отрицания отрицания. «При-

рода является пробным камнем для диалектики»[1], — писал Ф. Энгельс. Химия, непрерывно предоставляющая для этой пробы огромный и чрезвычайно богатый опытный материал, как и естествознание в целом, доказывает, что и в процессах превращения веществ все совершается диалектически. Подойти к раскрытию этой диалектики химических процессов и явлений, а значит и к познанию их, гораздо легче *«...с пониманием законов диалектического мышления»*[2].

---

[1] Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 22.
[2] Там же, стр. 14 (курсив мой. — *Н. Б.*).

Глава первая

О ХИМИЧЕСКОЙ ФОРМЕ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ

Материальный мир как единство качественно различных тел и явлений существует только в движении. Многовековой опыт, наблюдения и данные естественных наук, прежде всего таких, как физика, химия, биология, наглядно показывают, что все многообразие явлений в мире, несмотря на их качественное различие, представляет собой лишь различные формы движущейся материи. Все в мире, каждое материальное тело в каждый данный момент находится в каком-либо, а иногда и сразу в нескольких видах движения. Движение есть способ существования материи, ее самое основное, коренное свойство, внутренне присущий ей атрибут. Понимаемое таким образом движение обнимает собой все происходящие во Вселенной явления и процессы, начиная от простого перемещения и кончая мышлением. Вот почему движение в применении к материи, по определению Ф. Энгельса, — это «изменение вообще».

Изучая характер взаимодействия материальных тел между собой, т. е. их движение, изменение, наука познает особенности, конкретную природу, сущность самих этих тел. О теле, которое не находится во взаимодействии, в движении, ничего сказать нельзя. Оно ничем себя объективно не проявляет, а значит, и реально не существует. Отсюда следующая мысль Ф. Энгельса: «Предмет естествознания — движущаяся материя, тела» [1].

Формы и виды движения материи бесконечно многообразны. Это объясняется неисчерпаемостью самой материи, качественным разнообразием существующих и вновь возникающих ее форм, материальных тел, различ-

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 33, стр. 67.

ными видами связи и взаимодействий между ними. Но среди всего этого многообразия можно выделить основные формы движения. Каждая из них присуща более или менее широкому кругу качественно единообразных (одинаковых по уровню организации) материальных образований, отличается особым характером взаимодействия, подчиняющегося действующим в пределах данной формы движения определенным видам законов.

Ф. Энгельс в работе «Анти-Дюринг» впервые, опираясь на положение о материальном единстве мира и взаимообусловленности всех его частей, указал на некоторые из форм движения и на принципы их взаимоотношений. Основные формы движения взаимосвязаны, переходят друг в друга. Причем связь эта генетическая, т. е. в процессе развития, усложнения структур материальных образований усложняются и формы их движений. Высшие формы движения материи возникают из низших. Они содержат в себе в подчиненном виде низшие формы, но не сводятся к ним.

На основе учения о формах движения материи Ф. Энгельс создал классификацию наук. Каждая из наук, с точки зрения Ф. Энгельса, «анализирует отдельную форму движения или ряд связанных между собой и переходящих друг в друга форм»[1]. Поскольку все качественное своеобразие того или иного конкретного вида материи проявляется в специфике форм движения, то познание последних есть познание тел. Следовательно, объективной основой существования, развития и классификации наук служит наличие и качественное различие форм движения материи.

Положение Ф. Энгельса об объективных, качественно различных, генетически связанных формах движения является исходным принципом при разработке современного диалектико-материалистического учения о формах движения материи[2]. Это не исключает разнообразия направлений и попыток различного подхода к определению

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 564.

[2] Подробно о формах движения см.: «Философские вопросы современного учения о движении в природе». ЛГУ, 1962; Б. М. Кедров. О соотношении форм движения материи в природе. Сб. «Философские проблемы современного естествознания». М., 1959; М. Н. Руткевич. О формах движения в неорганической природе. «Ученые записки Уральского госуниверситета», вып. 21, 1957.

форм движения на основе новых, открытых наукой объективных характеристик природы, включающих структуры, тип движения, характер взаимодействия и соответствующие ступени развития материи, специфические законы [1]. Правильное методологическое решение проблемы форм движения имеет важное практическое значение, поскольку оно связано с классификацией наук, с определением предмета той или иной науки, характера ее взаимосвязей с другими науками и, в конечном итоге, с организационной структурой научных учреждений, с прогрессом научного знания [2].

Об образовании химических элементов

Вопрос о возникновении и сущности химической формы движения, о ее взаимодействиях с другими формами неразрывно связан с происхождением химических элементов, образующих все качественное разнообразие химических веществ. Проблема образования химических элементов остро стоит перед современным естествознанием и философией и является далеко не решенной. Совсем недавно, до конца XIX в., постановка такого вопроса представлялась совершенно бессмысленной. Химия XIX в. считала элементы вечными и неизменными. Господствовало мнение о первичных частичках материи. За них принимались неизменные, не превращающиеся друг в друга атомы, считалось, что именно они и являются носителями тех же самых свойств, что и элемент «в целом».

Для надлежащего научного освещения этой, как оказалось, весьма нелегкой проблемы потребовались усилия ряда наук и труд ученых самых различных отраслей знания. В этом направлении сделано уже многое. В течение последних десятилетий ученые обстоятельно исследовали природу химических элементов, строение составляющих их атомов. Были разработаны методы определения состава и структуры природных тел, найдены способы разложения их на простые составные части, усовершенствована методика выделения вещества в чистом виде. Ныне ведутся весьма интенсивные исследования по изу-

---

[1] См.: Д. М. Трошин. Методологические проблемы современной науки. М., 1966.

[2] См.: Б. М. Кедров. Предмет и взаимосвязь естественных наук. М., 1967.

чению распространенности химических элементов на Земле и в доступной нам области Вселенной. Следует заметить, что решение поставленной проблемы теснейшим образом связано с образованием элементов как в условиях Земли, так и на космических телах, более того, образование химических элементов современная наука неразрывно связывает с эволюцией звездных тел.

Успешное решение проблемы имеет не только большой теоретико-познавательный интерес, но и прямой практический смысл, поскольку осведомленность ученых о ходе и условиях процессов синтеза химических элементов в природе поможет осуществлению синтеза их в условиях лаборатории. Данная проблема имеет исключительно важное и философское значение, ибо она так или иначе связана с вопросом о начале и конце мира.

Теоретическое обоснование идея образования элементов получила только после открытия периодического закона, на основе которого было установлено существование генетической связи между элементами. В результате перехода от одного элемента к другому в условиях постепенного количественного нарастания атомного веса происходит скачкообразное изменение качества, усложнение строения атомов химических элементов. Это позволяет раскрыть общность их состава, являющуюся основанием для важного вывода о возможности превращения элементов. Сам автор периодического закона в статье «Естественная система элементов и применение ее к указанию свойств некоторых элементов» писал в 1870 г., что «все учение химии состоит в учении о свойствах элементов» и что цель и задача его — «превратить один в другой». Таким образом, закон периодичности, отражающий диалектический закон развития материи, и в частности химического вещества как одной из ее форм, позволил поставить идею о превращаемости элементов на прочную научную основу.

Успехи физики XX в. по изучению строения атома с последующим осуществлением ядерных реакций, получение искусственных радиоактивных изотопов, синтез пятнадцати новых, не обнаруженных на Земле, элементов открыли путь для теоретического и практического решения рассматриваемой проблемы. Именно в ходе осуществления ядерных превращений в широких масштабах были установлены некоторые возможные способы

синтеза химических элементов. Неясным оставался, однако, основной вопрос: где и когда образовались химические элементы в природе? В условиях Земли с момента ее образования, а тем более в настоящее время синтез элементов путем ядерных реакций протекать естественно не может.

Еще в конце XVIII в. возникает идея об образовании элементов в других космических телах. Но попытки обнаружить такие космические объекты долгое время оставались безрезультатными. Это послужило почвой для возникновения теорий о том, что синтез химических элементов в свое время произошел на некоторой дозвездной стадии существования вещества Вселенной и является частью необратимого процесса развития мира, имеющего якобы начало и конец. По этой гипотезе, выдвинутой Г. Гамовым, возникновение элементов — дело далекого прошлого.

В опровержении подобных взглядов большую роль сыграла молодая наука астрофизика. Ею были представлены доказательства того, что в звездах и в настоящее время происходят реакции с образованием химических элементов. Об этом свидетельствовали данные, полученные известным советским астрофизиком Г. А. Шайном о соотношении изотопов углерода в звездах. В то время как на Земле тяжелого изотопа углерода в девяносто раз меньше, чем легкого, в спектрах некоторых звезд относительное количество тяжелого изотопа составляет одну треть легкого. А соотношение атомов тяжелого и легкого изотопов углерода может меняться только в ходе ядерных реакций.

Несомненным доказательством того, что в звездах могут происходить процессы образования элементов, было обнаружение в спектрах некоторых из них линий технеция — неустойчивого элемента, распадающегося (полностью) за несколько тысяч лет. В земной коре, как известно, технеций не обнаружен. Он синтезирован искусственно. Отсюда следует, что в природе существование технеция возможно лишь там, где непрерывно протекают ядерные реакции. Эти открытия послужили убедительными доказательствами того, что синтез химических элементов может происходить на всех стадиях развития звезд и находится в теснейшей связи с ядер-

ными реакциями, обеспечивающими светимость звезд, обусловливающими их химический состав и эволюцию.

Спектроскопическое изучение химического состава атмосферы солнца, звезд, содержащихся в космическом пространстве пылевых и газовых туманностей, анализ метеоритов и данные геохимии позволили сделать определенные выводы о распространенности химических

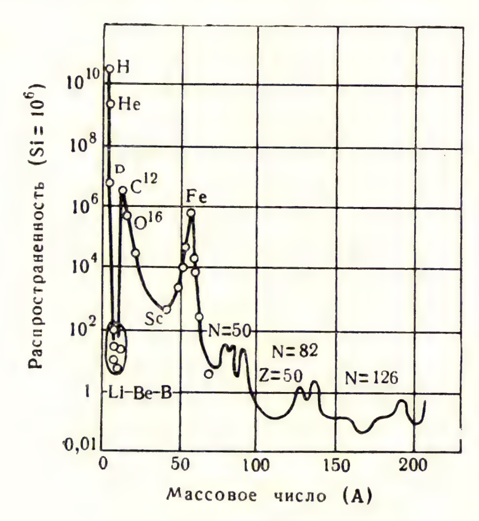


Рис. 1.

элементов во Вселенной. Американские ученые Г. Зюсс и Г. Юри, исходя из этих данных, полученных учеными разных специальностей, построили график распространенности элементов (см. рис. 1).

Распространенностью, как известно, называется относительное число атомов данного элемента в доступной для наблюдения области Вселенной. За единицу распространенности взята распространенность кремния, равная 10^6. Кривая на графике отражает зависимость распространенности от массовых чисел (или атомных весов) элементов.

Из характера кривой видно, что основными составными частями массы вещества многих небесных тел являются водород и гелий. Других сравнительно легких элементов Li, Be, B (обведены овалом) чрезвычайно мало,

менее чем водорода почти в 100 млн. раз. Затем следуют элементы, имеющие довольно значительное распространение. Это C, O, Ne, Mg, Si и т. д., распространенность которых по мере увеличения их массовых чисел вплоть до скандия постепенно уменьшается. Количество последнего в небесных телах чрезвычайно мало и приближается к содержанию Be.

После скандия (Sc) кривая круто поднимается вверх, достигая максимума для железа и соседних с ним элементов. Известно, что железо, если не брать во внимание водород и He, есть один из самых распространенных элементов в природе. Наличие максимума для железа является чрезвычайно важной особенностью кривой распространенности элементов. С последующим увеличением массовых чисел распространенность элементов падает. Экспериментальные данные о распространенности химических элементов, установленный на их основе характер связи массовых чисел элементов с их распространенностью получили объяснение в современной науке и легли в основу теории происхождения элементов.

Атомная физика раскрыла пути превращения атомов одного химического элемента в атомы другого. Это путь ядерных реакций, широко осуществляемых с помощью атомных реакторов, ускорителей частиц. Но где в природе самопроизвольно могут происходить эти реакции, требующие чрезвычайно жестких условий? Известно, что превращение одного атомного ядра в другое происходит лишь при взаимодействии с определенными ядерными частицами, обычно заряженными положительно. При этом для преодоления сил электрического отталкивания эти частицы (например, протоны) должны обладать огромной энергией. Откуда она берется?

Одним из путей получения этой огромной энергии является тепловое движение, возникающее под воздействием очень высоких температур. Как установила астрофизика, а точнее, ее новейший раздел, лежащий на границе атомной физики и астрофизики,— ядерная астрофизика, в недрах многих звезд имеют место температуры, необходимые для осуществления ядерных, вернее, термоядерных реакций. Осуществляющиеся в небесных телах в громадных масштабах термоядерные реакции являются основным источником не только энергии и светимости звезд, но и образования химических элементов. Выясне-

но, что термоядерные реакции протекают во всех звездах на различных стадиях их эволюции. Следовательно, образование химических элементов (нуклеогенезис) в звездах является многоступенчатым процессом. Он связан с определенным этапом развития звезды, ее строением, энергией.

Начальный момент синтеза элементов имеет, по-видимому, место в молодых, новообразовавшихся звездах, которые состоят в основном из водорода. При этом первичным процессом возникновения элементов является образование из гелия водорода в ходе так называемой протон-протонной реакции (водородный цикл) при температуре около 10^7 °K, происходящей внутри (в ядре) звезды в результате ее сжатия. Последующее выгорание водорода в гелий в оболочке звезды происходит путем углеродно-азотного цикла. Для звезд так называемой главной последовательности, к числу которых относится и Солнце, превращение водорода в гелий является основным процессом ядерного синтеза, обеспечивающим их энергию и светимость.

Образовавшееся в результате выгорания водорода гелиевое ядро звезды сжимается, а водородная оболочка расширяется. На этом этапе эволюции звезды, сопровождающемся увеличением ее размеров во много раз и соответственно понижением температуры на поверхности (звезды — красные гиганты) и повышением температуры в ядре (вследствии сжатия), осуществляются и другие ядерные процессы. В условиях более высокой температуры, равной 10^8 °K, и плотности в гелиевом ядре красного гиганта вступает в силу процесс Солпетера, при котором из α-частичек (ядер гелия) начинают строиться друг за другом ядра основных изотопов: бериллия — Be^8, углерода — C^{12}, кислорода — O^{16}, неона — Ne^{20}, магния — Mg^{24}. При повышении температуры до 10^9 °K может иметь место дальнейшее встраивание α-частичек вплоть до образования титана. Когда температура звезды достигает $5 \cdot 10^9$ °K, а плотность 105 *г/см*^{3}, т. е. наступает следующий этап эволюции звезды (звезды — белые карлики), то возникает одновременно множество процессов как построения, так и разрушения, деления ядер элементов. Устанавливается равновесное состояние, при котором могут образовываться почти все элементы, в том числе элементы группы железа. Характерной особен-

ностью атомного ядра железа является то, что оно обладает наибольшей энергией связи для каждой из составных частей ядра. Дальнейшее повышение температуры внутри звезды не привело бы к последующему построению более тяжелых элементов, а, наоборот, вызвало бы их разрушение. Именно этой высокой устойчивостью (стабильностью) атомных ядер железа и элементов его группы объясняется их относительно большая распространенность — «железный максимум» («пик») — на кривой распространенности элементов.

Итак, все рассмотренные выше ядерные реакции (слияния) приводили к возникновению железа. К построению других, более тяжелых элементов приводят иные процессы. Характер последних удалось установить также исходя из результатов анализа данных о распространенности элементов.

Было установлено, что большей распространенностью отличаются элементы, ядра которых содержат определенное число одинаковых частиц (например, нейтронов) — 20, 50, 82, 126 — «магические числа». Оказалось, что ядра с «магическим числом» нейтронов отличаются повышенной устойчивостью и инертностью по отношению к ядерным реакциям. Основной же путь образования тяжелых элементов — это захват нейтронов, осуществляющийся значительно легче других ядерных реакций в силу электронейтральности нейтронов. Отсюда естественна повышенная распространенность ядер (а значит, и химических элементов), содержащих «магическое число» нейтронов. Так, кальций, в ядре основного изотопа которого содержится 20 нейтронов, является довольно распространенным элементом в природе.

При последовательном захвате нейтронов, как известно, первоначально образуются лишь более тяжелые изотопы того же элемента, т. е. растет массовое число. Лишь захват нейтрона самым тяжелым из устойчивых изотопов приводит к неустойчивому, перегруженному нейтронами ядру. Последнее претерпевает β-распад, т. е. испускает электрон, и переходит в ядро следующего элемента с атомным номером на единицу больше. Подобную цепь ядерных реакций путем нейтронного захвата, приводящую к образованию нового элемента, можно проследить на процессе превращения стронция, имеющего несколько устойчивых изотопов, в иттрий (V). Так, Sr^{86},

захватывая нейтрон, превращается в Sr^{87}, очередной захват нейтрона приводит к образованию Sr^{88}, приобретение следующего нейтрона ведет к неустойчивому изотопу Sr^{89}, который и претерпевает β-распад, превращаясь в иттрий. Последовательное продолжение этого процесса связано с получением более тяжелых элементов.

В звездах в зависимости от характера их эволюции образование элементов, как известно, осуществляется путем медленного и быстрого захвата нейтронов. Медленный процесс (*s*-процесс) идет в длительных стадиях эволюции звезд, а процесс быстрого захвата нейтронов (*r*-процесс) может происходить при звездных катастрофах, взрывах сверхновой звезды, когда в чрезвычайно короткий промежуток времени возникает огромная концентрация нейтронов. При этом время между двумя следующими друг за другом захватами нейтронов столь мало, что в промежутках между ними ядро не может перейти в стабильное состояние путем β-распада. В ходе подобного процесса в течение нескольких секунд синтезируются все более тяжелые ядра, вплоть до нестабильного изотопа калифорния (254) [1], последующая дезинтеграция которого, по мнению ряда авторов, и является ответственной за то колоссальное количество энергии, которое освобождается при взрыве сверхновой звезды. Более или менее последовательно и с известной степенью обобщенности весь процесс образования химических элементов представлен на прилагаемой схеме (см. рис. 2).

Теория образования элементов посредством термоядерных реакций объясняет лишь один из возможных путей эволюции элементов. На ее основе путем комбинирования ряда процессов — медленных в выгоревших ядрах звезд гигантов и быстрых при вспышках сверхновых — можно более или менее удовлетворительно объяснить основные черты относительной распространенности элементов. Однако существуют элементы (Li, Be, B), которые не могут образовываться при термоядерных реакциях, ибо они в условиях высоких температур вступают в реакцию с водородом и немедленно разрушаются («сгорают»). К их образованию, как предполагает совет-

[1] См.: Д. А. Франк-Каменецкий. Происхождение химических элементов. «Успехи физических наук», т. 68, вып. 3, 1959, стр. 550.

Схема ядерных процессов, при которых происходит синтез элементов в звездах (по Л. Аллеру[1])

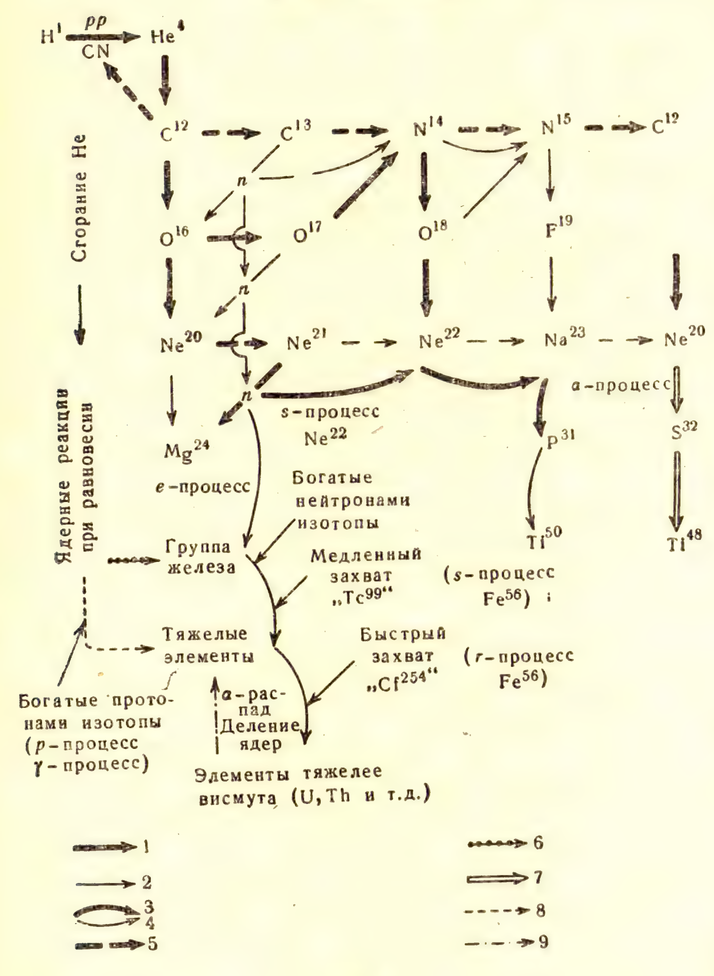


Рис. 2.

---

[1] См.: L. H. Aller. The Abundance of the Elements. New Jork Lnd. 1961, p. 246.

ский астрофизик Д. А. Франк-Каменецкий, ведет холодное электромагнитное ускорение частиц, за счет которого также идут ядерные реакции. Явления на поверхности звезд типа солнечных пятен, или протуберанцев, вызывают мощные магнитные поля, которые и производят ускорение частиц.

Таким образом, оба пути происхождения химических элементов — посредством термоядерных реакций и холодного электромагнитного ускорения — в отдельности не являются взаимно исключающими, а дополняют друг друга. Существует еще много нерешенных и до конца не выясненных проблем, касающихся эволюции звездных тел и связанных с нею процессов образования элементов. В частности, до сих пор не вполне ясно, откуда взялось межзвездное вещество, являющееся, как предполагают, исходным строительным материалом звездных тел. Не дан также удовлетворительный ответ на вопрос, откуда берется водород и куда исчезает образующийся гелий. Не известна пока еще с полной достоверностью и дальнейшая судьба звезд, в которых израсходовано все ядерное горючее.

Вокруг этих проблем идут бурные научные дискуссии, выдвигаются гипотезы, столь различные по своему характеру, что служат основанием для противоположных философских выводов.

Наиболее острая дискуссия идет как по вопросу о конечном этапе развития космических объектов (звездоподобных образований), так и о начальных стадиях их возникновения. Интересна романтическая с откровенно идеалистической подоплекой гипотеза о «белой смерти» мира — незадачливый близнец небезызвестной теории тепловой смерти Вселенной, — использующая в своих целях отсутствие на сегодняшний день исчерпывающих данных о свойствах, приобретаемых веществом в условиях (выгоревшей звезды) так называемого белого карлика. Иллюстрируя подобную интерпретацию научных фактов, французский ученый Роберт Токэ в «Современной астрономии» пишет, что мы вместе с Эддингтоном могли бы даже вообразить достигший полного вырождения белый карлик, где материя, уже не способная производить энергию, не реагирует на изменения температуры, где отклонение светового луча настолько велико, что свет вынужден как бы вращаться вокруг этого небесного

тела, не покидая его. Такой белый карлик представляет собой замкнутый в себе, не имеющий никакой связи с внешним миром, невидимый и не ощущаемый звездный труп [1].

Так, путем механического соединения объективных данных о том, что поле тяготения на поверхности коллапсирующей звезды в какой-то момент столь велико, что никакая частица, даже квант света, не способна покинуть звезду, с интереснейшими выводами, полученными в результате теоретических расчетов, о том, что реакция вещества на высокие температуры зависит от его состояния, с некоторой долей фантазии и не выдерживающего никакой критики идеалистического подхода создается гипотеза о конце мира. Оказывается, что образованное действием чудовищных сил устойчивое состояние небесного объекта, в котором идут напряженнейшие процессы, способные сминать ядерные конструкции, означает якобы отсутствие всяких противоречий, всякого движения.

Примеры из истории великих открытий с убедительностью показывают, что абсолютизация любых положений в науке никогда не была для нее полезна. Есть ли основание объявлять какое-либо состояние вещества абсолютным? И может ли вообще оно иметь место? Вспомним, как категорически в физике XVIII в. ставился вопрос о неделимости атома, или абсолютности пространства и времени, или о неизменности биологического вида в биологии додарвиновского периода, или, наконец, об отсутствии всякого движения при абсолютном нуле и т. д. Возникновение теории относительности, теории эволюции видов, развитие термодинамики, открытие теоремы Нернста начисто отбросили эти метафизические утверждения.

Весьма сомнительно, чтобы в условиях действия мощнейших сил гравитации, способных сжать тело размером с солнце до размеров тела с поперечником в один километр, сил столь мощных, что их неспособны преодолеть световые лучи, были совершенно исключены значительные качественные изменения вещества. Гораздо логичнее допустить, учитывая накопленный наукой опыт, существование в этих неизученных условиях пока еще не изве-

---

[1] См.: R. Tocquet. L'astronomie moderne. Paris, 1965, p. 355, 357.

стных сил, не регистрируемых существующими приборами, сконструированными со специальной целью. На основании некоторых косвенных данных, математических расчетов можно предположить, что при давлениях в десятки и сотни миллионов атмосфер, имеющих место только в звездах, осуществляются весьма радикальные качественные изменения в структуре веществ. С этой точки зрения белые карлики — это звезды, сжатые силами тяготения до такой степени, что ядра атомов освобождены от электронных оболочек и сдавлены в один гигантский ком. Но возможно и дальнейшее сжатие материи, когда будут деформироваться и ядра атомов. Ядерные частицы (нейтроны и протоны) будут вдавливаться друг в друга, деформировать свои оболочки, взаимодействовать, превращаться в самые тяжелые ядерные частицы — гипероны. В 1961 г. В. А. Амбарцумян и Г. С. Саакян выступили с теоретическим обоснованием возможности существования гиперонных звезд.

Интересна в этом отношении гипотеза о структуре вещества в спресованном состоянии и звездных температурах. Советский физик Д. А. Киржниц путем математического расчета и анализа полученных уравнений пришел к выводу, что при сверхвысоких давлениях, существующих в центрах некоторых звезд, т. е. при сверхплотных состояниях вещества, происходит упорядочение структуры вещества до кристаллического состояния твердого тела[1]. В центрах белых карликов, по мнению Д. А. Киржница, как раз и существует необходимое для кристаллизации огромное сжатие. Поэтому-то раскаленная сердцевина белого карлика имеет кристаллическое строение. Естественно, что реакции синтеза химических элементов в белых карликах не протекают, поскольку последние состоят в основном из ядер атомов тяжелых элементов. В связи с этим возникает много проблем и вопросов о свойствах и поведении материи, находящейся в сверхплотном состоянии под действием колоссальных давлений. Все это еще подлежит изучению современной наукой.

В принципе гипотеза Д. А. Киржница достаточно убедительна. Известно, что даже в области обычных хими-

---

[1] См.: Д. А. Киржниц. О внутреннем строении сверхплотных звезд. «Журнал экспериментальной и теоретической физики». 1960, т. 38, вып. 2, стр. 501.

ческих превращений имеются многочисленные примеры изменения свойств вещества с изменением давления. Так, желтый фосфор под влиянием сильного давления превращается в черный, который в отличие от желтого хорошо проводит электрический ток, обладает металлическим блеском. Серое олово-полупроводник под давлением превращается в белое олово, обладающее чисто металлическими свойствами, и т. д. Согласно существующей гипотезе, гиперонные звезды возникли именно из белых карликов. Под влиянием каких-либо внешних воздействий или других пока еще неизвестных причин сверхплотное вещество гиперонных звезд теряет устойчивость и путем скачка — взрыва — переходит в другое состояние, порождая массы обычных звезд разных типов.

Таким образом, белые карлики — не космические трупы, вещество которых выродилось, не последняя ступень эволюции вообще, на которой наступает якобы «белая смерть» мира, а лишь качественно определенный этап в развитии космического тела. Вещество последнего находится в новом, отличном от предшествующего состоянии, связанном с потерей одних свойств (например, светимости) и приобретением других, в состоянии, являющемся необходимой переходной ступенью к другому качественному изменению.

В настоящее время нет единого мнения и о начальном этапе звездной эволюции, т. е. о происхождении небесных тел. Согласно одной точке зрения, «звезда возникает из межзвездной среды путем сжатия газово-пылевого облака» [1]; о диффузном образовании планет писал в 1951 г. О. Ю. Шмидт. Согласно другой точке зрения, развиваемой В. А. Амбарцумяном, звезды возникают из более плотных дозвездных тел [2].

Характерно, что как те, так и другие, признавая происхождение космических тел из вещества, находящегося или в стадии разреженности или больших плотностей, указывают на связь и взаимопереходы этих крайних состояний. Здесь уместно привести высказывание В. Л. Гинзбурга по поводу существования этих двух (и,

---

[1] В. В. Соболев. Сверхплотные звезды. Сб. «Проблемы звездной астрономии». М., 1966, стр. 30.

[2] См.: В. А. Амбарцумян. Марксистско-ленинская методология и прогресс науки. Сб. «Методологические проблемы науки». М., 1964, стр. 193—194.

что особенно примечательно, в известной степени подтверждающихся некоторыми фактами.— *Н. Б.*), диаметрально противоположных точек зрения. «Это значит, что астрофизике предстоит пройти, вероятно, длинный и несомненно очень трудный путь, прежде чем будет окончательно выяснена природа процессов, приводящих к образованию сверхзвезд»[1]. Вполне допустимо, что решение поставленной проблемы лежит не на пути абсолютизации той или иной точки зрения, а на основе диалектического синтеза этих противоположных представлений. Противоречивый ход познания отражает противоречивость процесса разрушения — возникновения космических объектов, указывает на специфические противоречия, объективно существующие на различных этапах эволюции звезд, а значит, и на наличие движения, качественного изменения.

Изложенная теория образования химических элементов подтверждает, во-первых, тот непреложный факт, что «вся природа, начиная от мельчайших частиц ее до величайших тел, начиная от песчинок и кончая солнцами..., находится в вечном возникновении и исчезновении, в непрерывном течении, в неустанном движении и изменении»[2]. Следовательно, ни о каком начале — конце мира, творении его из ничего не может быть и речи; во-вторых, эта теория раскрывает причинно-следственную связь и зависимость явлений и свойств космоса от явлений и процессов микромира, и наоборот.

Примечательно, что некоторые из элементарных частиц первоначально были обнаружены в космических лучах. Приходя к нам из самых далеких пределов Вселенной, они генерируются, как полагают, в процессах, происходящих в звездах. Космические лучи, таким образом, явились как бы связующим звеном между двумя крайними полюсами материального мира. В самой структуре материи раскрылось единство, позволяющее через малое познавать большое, через изучение элементарных частиц, свойства которых в конечном счете обусловливают все разнообразие явлений материального мира, подойти к объяснению явлений космоса, светимости, энергии и строения звезд, их химического состава и эволюции.

---

[1] В. Л. Гинзбург. Современная астрофизика. М., 1965, стр. 25.
[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 354.

В недрах атомного ядра, таким образом, раскрываются сегодня как секреты образования химических элементов, так и тайны грандиозных и бурных процессов Вселенной, рождение и «умирание» звезд и Галактик. Именно поэтому современная наука одновременно решает проблемы микромира и космоса. Есть ли еще более убедительные доказательства правильности основополагающего принципа научной философии о материальном единстве мира, взаимной связи и взаимной обусловленности всех его бесконечно малых и бесконечно больших объектов?

Химическая форма движения

Качественные особенности различных структурных образований материи проявляются в своеобразии их движения. Специфика форм движения, следовательно, связана с природой того материального образования (носителя), которому она присуща. Структурой последнего и особенностью вытекающих из нее взаимодействий его с другими материальными объектами обусловлены закономерности, характерные для данной формы движения. Следовательно, для определения особенностей, качественной специфики той или иной формы движения материи важно прежде всего выяснить уровень организации материи, которому она присуща.

Поскольку взаимное воздействие тел друг на друга вытекает из их связи, а это именно и есть движение, то, следовательно, характер, форма движения, изменение материального объекта определяются его взаимодействиями с другими объектами. Но материя универсальна в своих связях, поэтому один и тот же материальный объект (атом, молекула, электрон и т. д.) может одновременно находиться в нескольких взаимодействиях, участвовать в ряде форм движения. Какая же из этих форм будет основной, ведущей, наиболее глубоко и полно отражающей качественную специфику этого материального объекта при данных условиях? А какие формы движения будут сопутствующими, подчиненными? Это зависит, как мы уже говорили, от структурной сложности материального носителя, от характера его основного взаимодействия.

Например, взаимодействие между ядром атома и орбитальными электронами, обеспечивающее устойчивое состояние самого атома, движение (переходы) электро-

нов с орбиты на орбиту[1], сопровождающееся излучением или поглощением квантов энергии (света), не относятся к химическим взаимодействиям. Точно так же все ядерные процессы, хотя и приводят к превращению веществ на уровне элементарных частиц, по природе своей не являются химическими. Подобным же образом, все совершающиеся в молекуле движения (вращательное и колебательное) составляющих ее атомных остовов и атомных групп, когда она находится в устойчивом состоянии, не являются химическими. Не является таковым и движение масс молекул (тепловое движение). Что же характерно для химического движения, что нового наблюдается, например, при образовании молекулы вещества? Ведь при этом участвуют те же атомы, обладающие теми же электронами. И взаимодействие этих электронов, как и всякое взаимодействие элементарных частиц, описывается теми же законами квантовой механики.

Дело в том, что при химическом движении взаимодействие между атомными остовами происходит, как правило, за счет самых внешних (валентных), наиболее удаленных от ядра электронов. Они подвижны и в предельном случае под воздействием различных факторов могут даже переходить с орбиты атома одного элемента на орбиту атома другого. Таким образом, здесь взаимодействие осуществляется не между электронами и ядром одного и того же атома, а между атомными остовами и валентными электронами двух и более атомов (как одинаковых, так и разных химических элементов), атомных групп (ионы, радикалы), молекул. Далее, это взаимодействие осуществляется парой (дублет) электронов при обязательном условии антипараллельности их спинов. Только в этом случае вследствие определенного, согласованного движения электронов, составляющих дублет, возникают между реагирующими атомами так называемые обменные силы, осуществляющие особую, *химическую* связь. Лишь такое обменное взаимодействие обусловливает возникновение химической связи и образование химического соединения.

---

[1] Под понятием пространственной орбиты здесь и далее подразумевается «совокупность положений электрона в атоме». См.: М. Х. Карапетьянц и С. И. Дракин. Строение вещества. М., 1967, стр. 35.

Переход электронов от движения в обособленных атомах к движению в образовавшемся едином поле молекулы, когда, например, электроны в молекуле H_2 или HeH становятся общими для обоих ядер, приводит к качественному изменению организации вещества, т. е. означает появление химической формы движения. Изучение некоторых свойств (спектров излучения и поглощения, магнитных и электрических свойств), непосредственно связанных со строением электронных оболочек обособленных атомов и образовавшихся из них в результате возникновения химической связи молекул, подтверждает качественное и количественное различие движения электронов в том и другом случае. Поэтому образование новых частиц вещества сопровождается глубоким скачкообразным изменением физико-химических свойств. Свойства, характерные для отдельных атомов, исчезают, возникают новые, присущие образованному ими соединению. Так, натрий в составе NaCl не проявляет свойств металлического натрия.

Переход электрона из одного состояния движения в другое, как и всякое качественное изменение, совершается в процессе взаимодействия противоположных тенденций (борьбы противоположностей). Тенденция электрона к изменению движения под влиянием приложенной энергии внешнего воздействия (температура, давление, действие реагента, облучение и т. д.) наталкивается на стремление сохранить первоначальное состояние движения. Причиной этого сопротивления являются внутриатомные поля и одинаково заряженные поля самих электронов. Подобное взаимодействие противоположных тенденций разрешается в переходе электрона в новое состояние движения (образование химического соединения) при условии: во-первых, достаточной величины приложенной внешней энергии, во-вторых, только в том случае, если электроны в образующемся едином поле молекулы будут занимать состояние с более низкой энергией, чем они занимали в поле изолированных атомов. Это основной принцип образования любого стабильного химического соединения.

Молекула химического соединения или какая-либо другая частица (ион, радикал) есть новая, более сложная дискретная ступень развития вещества. В молекуле между образующими ее атомами и атомными группами

появляются специфические взаимодействия и связи (химические). Это отражается и в качественно иных свойствах молекулы и в иных характерных для нее закономерностях. Свойства атомов, вошедших в состав молекулы, претерпевают значительные изменения уже в силу действия этих качественно особых закономерностей химического строения и взаимного влияния. Здесь уже нет аддитивности свойств, как это было при простой механической совокупности атомов. В то же время атомные остовы при всех химических превращениях в основном остаются без изменений. Это также является одним из определяющих признаков химической формы движения материи.

Действительно, атомы элементов в любых реакциях выступают как единое целое. Они являются предельно малыми, качественно своеобразными структурными образованиями вещества, которым свойственно химическое движение. Ф. Энгельс об этом пишет так: «...в химии имеется определенная граница делимости, за которой тела не могут уже более действовать химически — атом»[1]. Если при переходе из исходных веществ в конечные продукты атомные группы могут распадаться, то образующие эти группы атомы не претерпевают существенных изменений. Происходит лишь известная перегруппировка главным образом их валентных электронов, что связано с возникновением новых атомных групп и изменением порядка их взаимосвязи в частице (молекуле) вновь образованного вещества.

Итак, взаимодействие атомных остовов, их валентных электронов, т. е. материальных носителей относительно простой формы движения при определенных условиях вызывает качественный скачок в развитии материи, образование химической связи, новых, более сложных материальных структур (молекул, ионов, радикалов и т. п.), являющихся носителями и более высокой формы движения — химической.

Другие формы движения — тепловая, световая — сопровождают химический процесс, являются сопутствующими. Обычное наблюдение и данные опыта показывают, что, например, тепловая форма движения во множестве случаев не связана с превращением веществ. Так,

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 560.

импульсоподобное движение электронов в металлическом проводнике (медном, алюминиевом) связано лишь с перемещением их в пространстве и с тепловой (нагревание проводника) формой движения. Однако никакого существенного химического изменения вещества провода при этом не происходит. Частицы любого газа (например, N_2O), заключенного в некотором объеме, находятся в непрерывном движении, пространственном перемещении, что выражается в давлении на стенки сосуда. Тем не менее в этом случае никакой химической реакции не происходит. Наоборот, при любой химической реакции наблюдается выделение или поглощение тепла (экзо- и эндотермические реакции), а иногда реакция сопровождается световыми явлениями и т. д.

Таким образом, при превращениях веществ, обусловленных новым видом взаимодействия, имеющего своим результатом перегруппировку или полное разрушение старых и возникновение новых химических связей, главной и определяющей специфику этого процесса является химическая форма движения. Другие формы движения порождены ею и являются сопутствующими.

При изучении связи световой, тепловой и других форм движения с химической формой принцип их взаимообусловленности и генетической связи, высказанный Ф. Энгельсом, получает полное подтверждение. Например, световая, тепловая, электрическая формы как низшие могут присутствовать в химической форме движения. Последняя же как высшая не присутствует в низших. Хотя возникновение ее обусловлено и порождено низшими формами.

Различные формы движения материи, изучаемые соответствующими науками, не только не сводимы друг к другу, но даже внутри одной и той же формы движения отдельные виды в известном смысле обособляются. Физика, например, изучает ряд форм движения: механическую (перемещение макротел в пространстве — поступательное, колебательное, вращательное), молекулярно-тепловую и процессы, обусловленные межмолекулярными взаимодействиями (изменения агрегатных состояний, диффузия, растворение, теплопередача), электрические и электромагнитные процессы; внутриатомные и внутриядерные явления, определяемые строением атома и его ядра (оптические свойства тел, природа химиче-

ского сродства, взаимопревращение элементов, ядерные реакции и т. д.). Как правило, в физических явлениях существует теснейшая взаимосвязь всех этих форм движения, переход их друг в друга. Однако каждой из них присуща своя особенность и качественная определенность, свои характерные закономерности. Так, тепловое движение, хотя и является результатом пространственного движения молекул, не подчиняется законам механики. Здесь действуют свои особые статистические законы, проявляющиеся только при движении масс молекул. В органической химии, изучающей более высокий и сложный вид химической формы движения, наряду с общехимическими закономерностями известны и специфические.

Итак, вследствие особого (обменного) взаимодействия электронов, принадлежащих таким основным дискретным частицам вещества, как атомы, ионы, радикалы, молекулы, возникают химические связи и образуются самые разнообразные по своему строению, составу и свойствам химические соединения, что и представляет собой универсальный акт химического превращения. Это и есть химическое движение. Следовательно, атомы и образуемые ими вышеуказанные типы материальных частиц с более или менее сформировавшейся электронной оболочкой выступают как материальные носители химической формы движения. Характерным для каждой из этих частиц химического соединения является то, что она «представляет единую квантово-механическую систему, устойчивость которой определяется минимумом энергии как функции межатомных расстояний»[1]. Кроме атомов, молекул, ионов и свободных радикалов В. И. Кузнецов к числу частиц — носителей химической формы движения правомерно относит «молекулярные комплексы, коллоидные частицы, поверхностные соединения, твердые и жидкие фазы постоянного и переменного состава, а также некоторые (относительно долгоживущие) активные комплексы переходного состояния (например, мультиплетные комплексы)»[2]. Все вышеуказанные частицы представляют тот уровень организации материи, на кото-

---

[1] В. И. Кузнецов. Эволюция представлений об основных законах химии. М., 1967, стр. 306.

[2] Там же.

ром при определенных условиях взаимодействия возникает и действует химическая форма движения.

Отсюда вытекает и тот тип превращений вещества, который изучает химия. Это будут превращения, связанные с переходом от одной химической частицы (квантово-механической системы) к другой. Именно эти превращения и обусловлены перераспределением валентных электронов, образующих химические связи, т. е. возникновением одних, разрушением других или изменением вообще порядка последних.

Для более глубокого понимания существа химической формы движения материи, качественных особенностей и места химических изменений среди других превращений вещества и форм движения важен не только структурный, но и генетический подход. Как следует из рассмотренного ранее процесса образования химических элементов, химическая форма движения материи во времени возникла после субатомной формы. Простейшие химические процессы (образование радикалов, молекулярных ионов) стали, по-видимому, возможными тогда, когда в недрах звезд сформировались атомы с относительно стабильным ядром и более или менее устойчивой электронной оболочкой, когда условия, в частности температурные, привели к снижению кинетической энергии движения, что и способствовало образованию более сложных по сравнению с атомами структурных частиц вещества.

Дальнейшее развитие химической формы движения материи в связи с изменением условий, в частности на нашей планете, привело в своем верхнем пределе к образованию жизни. Послужив основой для новой, биологической формы движения, химическая форма стала существовать в ней уже в качестве подчиненной. «На всех высших уровнях (уровень движения и соприкосновения крупных масс, биологический уровень и т. п.) химическое движение не уничтожается, а присутствует в «снятой» форме, как и субатомная форма движения (ядра, нуклоны и другие элементарные частицы) присутствует в химическом движении» [1].

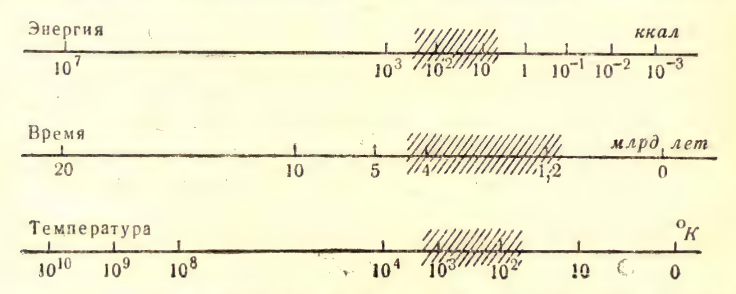
---

[1] В. А. Штофф, Р. Б. Добротин. Изложение вопросов философии в курсе общей химии. Лекции семинара по повышению научной и методической квалификации преподавателей курса общей химии. М. — Л., 1966, стр. 12.

Особенно наглядно отличие химических процессов от других превращений вещества выступает при сравнении их энергетических эффектов. Значения последних, в частности величины теплового эффекта при химическом, ядерном и фазовом превращении равных количеств одного и того же вещества, весьма существенно отличаются друг от друга.

Так, при: ядерной реакции $H^1 + H^2 \rightarrow H^2 + e + \nu + 9{,}6 \cdot 10^6$ *ккал*,
фазовом переходе $H_{2\,(газ)} \rightarrow H_{2\,(тв)} + 0{,}25$ *ккал*,
образовании молекулы вещества $H + H \rightarrow H_2 + 104{,}2$ *ккал*[1].

Первые два процесса, как известно, не являются по своей природе химическими превращениями и изучаются



Локализация химической формы движения (отмечено штрихами) [2] рис. 3.

физикой. Последний процесс — химическая реакция. Величины энергетических эффектов химических реакций лежат в интервале приблизительно 10^2 до 10 *ккал*, выше следует область ядерных превращений, ниже — фазовых переходов, связанных с изменением агрегатных состояний вещества.

Область химической формы движения, заключающуюся обычно в пределах от 10^{-6} до 10^{-8} *см*, Р. Б. Добротин удачно выделяет, например, по размерам ее носителей (атомные и молекулярные агрегаты), выше располагается область простейших коллоидных и биологических структур (переход к макрообъектам), а ниже от 10^{-12}

---

[1] В. А. Штофф, Р. Б. Добротин. Изложение вопросов философии в курсе общей химии, стр. 11.

[2] См. Р. Б. Добротин. Химическая форма движения. Изд-во ЛГУ, 1967, стр. 32—33.

до 10^{-14} *см* находятся частицы, участвующие в ядерных процессах. Более или менее четко ограничивается химическая форма движения в определенных интервалах температуры, времени и энергии взаимодействия.

Естественно, что вышеприведенные линии раздела форм движения не абсолютны, а относительны и условны.

К характерной особенности химических процессов относится также то, что в них участвуют не отдельные атомы и молекулы, а масса их, образованные из них вещества. Химическое вещество однозначно определяется как совокупность атомов химических элементов. Каждая химическая реакция есть, следовательно, взаимодействие огромных количеств различных частиц. Так, уравнение $N_2+3H_2 \rightleftarrows 2NH_3+Q$ отражает лишь соотношение между массами (молями) молекул азота, водорода и аммиака — участников реакции. Но изменение количества молекул веществ, участвующих в процессе химического взаимодействия, также неизбежно придает последнему и новый качественный характер. «Совокупность молекул обладает особенностями, не присущими отдельным молекулам. Так, например, химические реакции в газах могут протекать обычно только при наличии совокупности молекул» [1]. Характерно также и то, что «химические и физические свойства данного вещества, как правило, не представляют собой суммы свойств составляющих его молекул» [2]. Эти факты вполне согласуются с законом диалектики о переходе количества в качество.

Химическое движение можно рассматривать также как результат действия специфических противоречий, внутренне присущих атомам, молекулам и другим дискретным частицам вещества, любой химической реакции. Основным противоречием химической формы движения в наиболее общем виде является противоречие между двумя тенденциями, характеризующими состояние вещества. Первая тенденция — это приближение, точнее, влечение квантово-механической системы (например, молекулы, комплексы, макромолекулы и другие химические частицы) к минимуму на поверхности потенциальной энергии, т. е. «стремление» к термодинамически наиболее устойчивому при данных условиях состоянию. Вторая тенденция противоположна первой; она состоит в

---

[1] «Краткая химическая энциклопедия», т. III. М., 1964, стр. 266.
[2] Там же.

кинетической неподатливости системы, или, иначе, в наличии энергетических барьеров, противодействующих стремлению системы скатиться в энергетическую яму. Первая тенденция «революционна», тогда как вторая характеризует «консервативную» сторону системы.

Анализ противоречий между этими двумя тенденциями дает возможность получить ключ к выяснению сущности химического движения как *самодвижения.* Суть химического самодвижения системы, т. е. первопричина химического самоизменения данного соединения, заключается в наличии внутри самой системы возможности к преодолению энергетических барьеров без подачи энергии извне. Для этого почти любое химическое соединение обладает целым рядом способов, каждый из которых так или иначе ведет к удлинению пути реакции, но к выигрышу энергии, т. е. к отысканию более низких барьеров (стеночный катализ, сольвокатализ) или к снижению их путем автокатализа — путем образования промежуточных комплексных соединений, в том числе комплексов с циклическим переносом электронов, например, для реакции AB+CD→AC+BD:

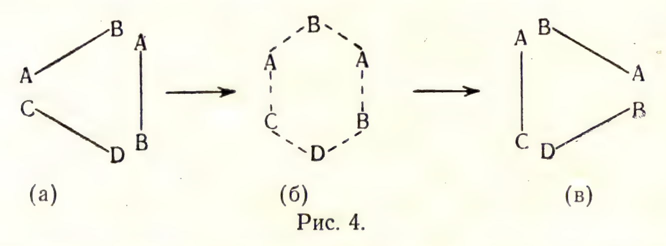


Рис. 4.

Следовательно, физический смысл химического самодвижения заключается в том, что волновая природа (непрерывность) валентных электронов позволяет осуществить скачок, т. е. дискретный переход от (а) к (в) путем постепенного (адиабатического) перераспределения электронного облака в промежуточных комплексах типа комплекса (б).

Формы проявления основного противоречия в различных видах химических процессов (окислительно-восстановительных и кислотно-основных) весьма разнообразны. Познание конкретных видов противоречий и есть познание самих конкретных процессов превращения веществ, т. е. различных химических реакций.

Таким образом, химия, изучающая превращение веществ, качественно особую форму движения материи, является самостоятельной, специальной наукой, имеющей свой собственный предмет и метод изучения, свойственные ей специфические понятия (химический элемент, химическое соединение, химическая связь, валентность, радикал, функциональная группа и т. д.), с помощью которых она формулирует свои законы (периодический закон, закон химического строения, принцип валентности и др.), строит свои гипотезы и теории, составляющие базис химической науки, ее теоретическую основу.

Предмет химии

Революция в естествознании на рубеже XIX—XX вв., создание теории относительности, квантовой механики вскрыли безраздельное господство диалектики в таких крупных областях познания, как физика и химия, где все, казалось, было уже «почти» ясно. Новейшие открытия в ядерной физике, биологии и других областях естествознания лишь еще раз подчеркнули объективную взаимосвязь и взаимозависимость явлений природы.

Усложнение системы наук потребовало иного подхода к определению предмета отдельной науки, отличного от подхода прошлого столетия, для которого были характерны жесткие рамки и абсолютные разграничения. Определяя предмет той или иной науки, ученый необходимо освещает его со всех сторон, рассматривает во всех связях и опосредованиях, ибо определение науки не только связано с уровнем и динамикой ее развития, но зависит и от взаимосвязей со смежными науками.

Почти с момента становления научной химии, т. е. начиная, примерно, от Бойля, Ломоносова и Лавуазье, существует представление о ней как о науке о веществах и их превращениях. Однако положение это, как показывают данные современного естествознания, весьма общо, поскольку, например, агрегатные переходы, изменения свойств, превращение веществ, имеющее место при ядерных реакциях и геологических явлениях, изучает также и физика, и геология, и другие науки. Тем не менее это представление лежит в основе большинства принятых и ныне определений химии.

Различные авторы стремятся при этом раскрыть или уточнить существо химического превращения, связывая

его с изменением состава, строения и свойств реагентов и продуктов реакции, с переходами различных форм энергии, с условиями протекания процесса, действующими закономерностями и т. д. Подобного рода подход к существу химических изменений, к определению предмета химии имеется, например, в таких обстоятельных и широко известных учебниках, ставших уже своего рода энциклопедией по неорганической химии, как учебники Г. Реми, Н. В. Некрасова, во многих других курсах общей и неорганической химии для вузов, вышедших за последние годы. Рассматривая химию как науку о превращениях веществ, многие авторы особо выделяют ту или иную, важнейшую с их точки зрения, сторону этого превращения. Так, Н. Л. Глинка в своем определении акцентирует внимание на взаимосвязи строения и свойств. Химия, пишет он, «изучает состав и строение веществ, зависимость свойств вещества от его состава и строения...»[1]. В учебнике под общей редакцией И. Н. Путиловой в качестве сопутствующего определения дается следующее: «Предметом химии является также и взаимопревращение химической и других форм энергии, присущее всем химическим процессам»[2].

Однако большинство современных авторов все настоятельнее подходят к мысли о недостаточности подобных определений химии, основанных на понятии вещества и его превращениях. Так, известный американский химик Л. Полинг, определяя химию как «науку о веществах: об их строении, свойствах, о реакциях, в результате которых одни вещества превращаются в другие»[3], тут же замечает, что такое определение «является как слишком узким, так и слишком широким. Оно слишком узко, поскольку химик, изучая вещества, должен также изучать лучистую энергию — свет, рентгеновское излучение, радиоволны — в ее взаимодействии с веществами»[4]. Л. Полинг указывает на тесную связь химических и физических процессов, фактически на практическую невозможность, по его мнению, отделить их друг от друга. На основании этого он и говорит о данном им определении

[1] Н. Л. Глинка. Общая химия. М. — Л., 1965, стр. 13.
[2] «Курс общей химии». Под редакцией И. Н. Путиловой, 1964, стр. 3.
[3] Л. Полинг. Общая химия. М., 1964, стр. 13.
[4] Там же.

химии как таком, которое «является и слишком широким, так как охватывает почти все другие науки» [1].

Попытки дать определение предмета химии, более точно и глубоко отражающее как существо, специфику современной химической науки, так и момент связи ее с другими науками, не прекращаются. Представляет интерес в этом отношении стремление подойти к определению химии через раскрытие механизма химических превращений. Впервые это было сделано еще Ф. Энгельсом. Использовав мысль Гегеля, Энгельс указал, что в основе превращения веществ лежит один из всеобщих законов развития материального мира. «Химию можно назвать,— писал он,— наукой о качественных изменениях тел, происходящих под влиянием изменения количественного состава» [2].

Более поздние факты убедительно показали, что многие химические превращения осуществляются и без количественного изменения состава участвующих веществ. Ф. Энгельс, однако, не абсолютизировал свое определение, специально указав, что в химии «приходится также рассматривать множество таких качественных изменений, обусловленность которых количественным изменением совершенно не установлена» [3].

Опираясь на огромный экспериментальный и теоретический материал, накопленный химией в наше время, ученые стремятся углубить и развить определение Ф. Энгельса. Так, Ю. А. Жданов, исходя из теории химического строения, открытия явления изомерии, столь широко распространенного в органической химии, и новых данных о строении и свойствах веществ, рассматривает химию как науку «о качественных изменениях тел, происходящих под влиянием изменения количественного состава и строения» [4]. Такое определение химии полнее раскрывает существо, механизм химического превращения. Однако и оно не вполне решает вопрос, поскольку включает в себя многочисленные ядерные реакции, представляющие не химическую, а качественно другую форму движения.

---

[1] Л. Полинг. Общая химия, стр. 13.
[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 387.
[3] Там же, стр. 567.
[4] «Журнал общей химии», 1956, т. 26, вып. 1, стр. 257.

Некоторые ученые, исходя из положения диалектического материализма о неразрывной связи формы движения с определенным видом материи, считают необходимым указать при определении предмета химии соответствующую материальную структуру (носитель). Так, с точки зрения Я. И. Герасимова, «химия есть наука о связи свойств вещества (в основном химических свойств) с составом и строением молекул и об изменении этих свойств с изменением состава и строения молекул»[1]. При этом Я. И. Герасимов расширительно толкует понятие молекулы, считая, например, что молекулярное строение имеют также и ионные кристаллы, и растворы и т. д. Получается, что одна из важнейших задач химии состоит в выяснении зависимости химических свойств молекул от их химического строения, т. е. от состава молекул, от последовательности связи и пространственного расположения атомных остовов и различных атомных групп в молекуле, от характера их взаимного влияния. К мысли о том, что «непременным условием протекания этих процессов (химических.— *Н. Б.*) является присутствие специфических материальных структур, которые принято называть молекулами»[2], приходит и М. И. Шахпаронов.

Б. М. Кедров рассматривает химическую форму движения как такую, при которой происходит «изменение внутренней структуры молекул в результате движения составляющих ее атомов, но при которой не происходит коренного изменения (разрушения или взаимопревращения) самих атомов»[3].

Определения Я. И. Герасимова и Б. М. Кедрова, казалось бы, наиболее конкретно и объективно отражают специфику химических превращений, а значит, и существо изучающей их химической науки. Но все ли участвующие в химических реакциях вещества имеют обязательно молекулярное строение? Существует точка зрения, что понятие «молекула» неприменимо к металли-

---

[1] Я. И. Герасимов. Химическая форма движения материи, ее связь с другими формами движения. Предмет химии. «Вестник МГУ», 1963, серия 2, № 6, стр. 3.

[2] М. И. Шахпаронов. Химическая форма движения материи. Сб. «Диалектический материализм и вопросы естествознания». Изд-во МГУ, 1964, стр. 270.

[3] Б. М. Кедров. Предмет и взаимосвязь естественных наук. М., 1962, стр. 333.

ческим и ионным кристаллам, а также к огромной массе поверхностных соединений. «В таких кристаллических телах, как металлы, сплавы, ионные и атомные кристаллы, а также в их расплавах, как правило, молекул не существует, поскольку в этих веществах любой атом (или ион) взаимодействует со всеми соседними атомами (или ионами) приблизительно одинаково»[1]. В качестве структурных единиц ионного кристалла правильнее рассматривать положительные и отрицательные ионы, чем молекулы. В связи с этим возникает сомнение в целесообразности включать в определение химической формы движения понятие молекулы. Видимо, окончательное решение вопроса о точности и полноте подобных определений предмета химии зависит от дальнейшего развития самой химии и смежных с нею наук, от получения точных опытных данных в ходе более глубокого изучения строения широкого круга химических веществ и их соединений в различных агрегатных состояниях и кристаллических формах.

В настоящее время нет достаточных оснований отказываться от определения химии как науки о превращениях веществ. Но, видимо, в свете новых данных существует необходимость выяснить, о каких превращениях при этом идет речь. Иначе говоря, требуется уточнить содержание понятия «химическое превращение». Очевидно, это такое превращение вещества, при котором происходит изменение его строения, состава (иногда и того и другого вместе), свойств в соответствии с особыми химическими закономерностями; химические превращения происходят на атомном (в нижнем пределе) уровне и осуществляются в процессе особых взаимодействий определенных структурных частиц вещества (атомы, молекулы, ионы, радикалы); химические превращения сопровождаются возникновением (или перераспределением) специфической химической связи. Этим уже объективно отличаются химические превращения вещества от других его превращений (ядерных, геологических и т. д.). Если при этом еще иметь в виду наличие специфического химического метода для исследования химических превращений и строения вещества, то имеются все

---

[1] «Краткая химическая энциклопедия», т. 3, стр. 266.

основания говорить о химии как науке, изучающей особые (химические) превращения веществ.

Н. Н. Семенов считает, что *«химическое превращение,* химические реакции *есть главный предмет химии»* [1]. Изучение же различных свойств элементов, в частности строения атомов и молекул, а следовательно, и связи строения и свойств, для чего используются методы различных наук, главным образом физики, дает, с точки зрения Н. Н. Семенова, «для химии вспомогательный материал, облегчающий главную задачу, задачу рационального управления химическими превращениями» [2].

Преимущество этого определения заключается в том, что в нем не только выделяется главное — особый характер того рода превращений, изучением которых занимается химия в отличие от других наук, но и прямо указывается, что последние при изучении химических превращений играют вспомогательную роль. Это вполне согласуется с учением диалектического материализма о принципах взаимосвязи форм движения материи о том, что высшая форма сопровождается подчиненными, низшими формами, например химическая — физическими, биологическая — химическими и физическими и т. д. Это находит свое отражение в соответствующей взаимосвязи наук, изучающих различные формы движения материи. Этим же объясняется и тот факт, что химии неизбежно приходится изучать не только химические превращения (т. е. химическую форму движения), но и другие формы движения (световые, тепловые, радиационные излучения и т. д.), их взаимодействия с веществом в процессе химического превращения как сопутствующие или вызывающие его.

Несомненно справедливо положение, что, только опираясь на современный уровень естественных наук вообще и химической в особенности, на их эволюционирующий характер, можно более точно определить предмет химии и установить ее действительные соотношения со смежными областями знания, в первую очередь с физикой. Новейшая химия настолько тесно связана с физикой, что даже имеют место неправомерные попытки растворить

---

[1] Н. Н. Семенов. Цепные реакции. М., 1934, стр. 11 (курсив мой. — *Н. Б.*).

[2] Там же.

химию в физике. Это, конечно, крайность, однако неоспорим тот факт, что именно развитие атомной физики способствовало прогрессу химии, более полному раскрытию существа химических явлений, установлению многих действующих при этом закономерностей.

Особенно быстрый прогресс современной химии был вызван проникновением в эту науку представлений об электронном строении атомных и молекулярных оболочек. Не случайно дальнейшее развитие теории химического строения А. М. Бутлерова и положений В. В. Марковникова о взаимном влиянии атомов в молекуле связано с установлением электростатического характера химической связи, а затем — ее электронной природы. Химическая связь — центральная, главнейшая проблема химии. Поэтому некоторые химики справедливо полагают, что раскрыть природу, характер химической связи, закономерности образования и разрушения ее — значит раскрыть механизм и существо процесса превращения веществ, т. е. самую суть химического движения.

Известным препятствием на пути определения предмета химии через химическую связь является, как заметил Я. И. Герасимов, еще недостаточно полное знание последней. Это, кстати сказать, также иногда служит одной из причин попыток сведения химических явлений к физическим. Однако сама идея подойти к определению химии через химическую связь открывает, видимо, путь к выяснению одного из существеннейших моментов современной химии — связи и качественного отличия физических и химических явлений. Поскольку именно в процессе образования химических связей, в результате взаимодействия электронов осуществляется переход одной формы движения в другую, возможность подойти к определению предмета химии через химическую связь открывается ныне установлением факта совершенно несомненной зависимости строения вещества, его свойств, реакционной способности от типа и характера связи. Убедительное доказательство этому представляет развитие и широкое применение в химии таких новейших методов исследования, как ИК-спектроскопия, ЯМР, масс-спектроскопия.

Отсюда вполне понятно стремление в последнее время рассматривать химию как науку «об изменениях тел, происходящих под влиянием изменения их внутрен-

него строения, т. е. *порядка взаимосвязи*, взаимодействия атомов»[1], или изучающую «превращения веществ, протекающих с *перераспределением связей* между атомами»[2].

В. И. Кузнецов, принимая за основу эти определения предмета химии, данные Ю. А. Ждановым и Г. В. Быковым, считает, что *«химией следует называть науку о превращениях веществ, происходящих с изменением порядка валентного взаимодействия между атомами»*[3]. Эти определения предмета химии, очевидно, на сегодня являются наиболее приемлемыми и могут быть взяты за основу для дальнейшего уточнения и развития.

Ковалентная химическая связь, как известно, направлена, определенным образом ориентирована в пространстве. Кроме того, образование химических связей есть процесс, т. е. явление, протекающее во времени. Поэтому-то химию интересует перераспределение, разрушение, возникновение химических связей в пространстве и времени. Но поскольку в этих процессах определенным образом взаимодействуют валентные электроны реагирующих частиц, то можно сказать, что химия, ее новейший раздел — квантовая химия — изучает, в частности, *взаимодействие валентных электронов частиц вещества как между собою, так и с ядрами* атомов, составляющих эти частицы, и *вызванные этим изменения в строении, составе и свойствах вещества.* В этом, с электронной точки зрения, выражается, по-видимому, существо процесса химического превращения веществ. Перераспределение электронных плотностей, обусловленное возникновением одних и исчезновением других связей, сопровождающее каждую химическую реакцию, подтверждает это.

При таком подходе становится более ясным механизм химического изменения, причины его и взаимосвязь физической и химической форм движения. Причина химического движения лежит в физических, квантово-волновых закономерностях, определяющих обменное взаимодействие валентными электронами, принадлежащими

---

[1] Ю. А. Жданов. Очерки методологии органической химии. М., 1960, стр. 102 (курсив мой. — *Н. Б.*).

[2] Г. В. Быков. История стереохимии органических соединений. М., 1966, стр. 343 (курсив мой. — *Н. Б.*).

[3] В. И. Кузнецов. Эволюция представлений об основных законах химии, стр. 307.

атомам, атомным группам, молекулам реагирующих веществ. Образование химических связей, обусловливающих появление качественно новых веществ, есть следствие.

Такие чисто химические явления, как валентность, ее направленность и насыщаемость, имеют свои глубокие физические причины, а значит, и объяснение их следует искать в свойствах и закономерностях движения элементарных частиц — электронов. Однако последним собственно химические закономерности не присущи, ибо они являются качественно новыми закономерностями, действующими только при особых взаимодействиях частиц вещества, приводящих к его химическому превращению. В этом проявляется как непрерывность, единство форм движения, «связанных между собой и переходящих друг в друга», так и прерывность, относительная самостоятельность, качественная специфика этих форм. Следовательно, физическая и химическая формы движения вполне могут быть рассмотрены и в плане причинно-следственных отношений. Подобные отношения, как известно, носят диалектический характер и сопровождаются качественными изменениями при переходе от причины к следствию и наоборот.

Пространство и время в химии

Понятия о пространстве и времени входили в естественные науки не одновременно, но постепенно в ходе их исторического развития. Приоритет в этом отношении, как известно, принадлежит геометрии и астрономии. При изучении простейших свойств веществ, например, изменения объема при переходе из одного агрегатного состояния в другое или внешнего строения — формы и размеров образующих некоторые вещества кристаллов — исследователь сталкивается с необходимостью пространственных представлений. Но подобные описания веществ и их молекул относятся к области физики. Химия же связана с качественными превращениями веществ, изменениями, которые совершаются при определенном взаимодействии молекул. Она рассматривает процессы, которые приводят к этому изменению, исследует механизм его. Но это невозможно без учета такого объективного фактора, как время.

В связи с этим американский химик А. Вильямсон почти столетие назад в докладе «Соображения по дина-

мике химии на примере этерификации» говорил: «В статике мы изучаем явления в момент покоя, в динамике же мы изучаем их изменения, и эта разница ясно формулируется словами, что переход от статической к динамической точке зрения заключается в добавлении к измерениям пространства измерения времени» [1].

Представления о пространстве и времени, о том, что они являются необходимыми факторами в осуществлении любого химического явления, особенно интенсивно стали проникать в химию в связи с возникновением теории о структуре вещества, о механизмах химических превращений. В правильном понимании самой природы и свойств пространства немалую роль сыграли работы Н. И. Лобачевского. Первый из естествоиспытателей, он, с позиций созданной им неэвклидовой геометрии, стал рассматривать пространство как необходимое свойство материи, неразрывно связанное с движущейся материей, с ее структурой. Позднее в теории относительности экспериментально были подтверждены эти идеи Н. И. Лобачевского. Было установлено, что в природе нет и не может быть материальных тел, даже сколь угодно малых, которые не имели бы величины, объема, не находились бы в пространстве. Положение макротел в пространстве определяется точно в системе декартовых координат, положение микрообъектов, обладающих корпускулярно-волновой природой,— соотношением неопределенностей.

В бесконечной Вселенной нет места, которое не было бы заполнено материей. Новейшей физикой доказано существование разных форм материи, в частности вещества и поля. Там, где нет вещественной формы материи, обладающей такими свойствами, как масса, форма, место занимает не пустота, не ничто, как утверждают метафизики и идеалисты, а материальные поля, имеющие определенную структуру и свойства (электромагнитные, гравитационные и т. д.). Таким образом, пространство — атрибут материи, и его свойства определяются последней. Пространство вечно и бесконечно, как сама движущаяся материя. Измерение объемов материальных тел, определение их положения в пространстве и другие физические

---

[1] Цит. по: О. Т. Бенфи. Концепция времени в химии. Сб. «Методологические проблемы современной химии». М., 1967, стр. 183.

операции доказывают трехмерность пространства, объективность его свойств.

Представление об объективности пространства на атомно-молекулярном уровне уже с первой половины XIX в. утверждалось в химической науке. Дж. Дальтон, исходя из принципа связи пространственного расположения атомов в «сложных атомах» химических веществ с их физико-химическими свойствами, одним из первых ввел в химию представления о важности фактора строения. Он показал, в частности, что то или иное расположение атомов в «сложном атоме» обусловливает их различное поведение в реакции. Позже явления изомерии, различие свойств у соединений, имеющих один и тот же химический состав, А. М. Бутлеров также объяснил неодинаковым порядком связей и расположением структурных частей по отношению друг к другу в молекулах изомеров. Необходимость учитывать пространственное строение молекул, их конфигурацию для объяснения новых форм изомерии, не охватываемых первоначальной теорией строения, привело к возникновению и развитию специального раздела химии — стереохимии. Открытие известным русским кристаллографом К. С. Федоровым законов пространственного размещения атомов, ионов и молекул, образующих кристаллические структуры, сыграло большую роль в развитии кристаллохимии.

На основе пространственных представлений сложились многие химические теории катализа. Мультиплетная теория катализа А. А. Баландина (1929) предполагает, например, определенное соответствие между пространственным расположением атомов и связей в реагирующей молекуле и геометрическими параметрами (строением активного центра катализатора-мультиплета) кристаллической решетки катализатора. В теории «атомных ансамблей» Н. И. Кобозева (1939) предполагается возможность существования активных центров из атомов, не входящих в кристаллическую решетку и образующих аморфную фазу на поверхности кристалла или инертного носителя. В некоторых теориях предполагается, что происходит геометрическое нарушение пространственной структуры реагирующих молекул на неровностях каталитической поверхности, что облегчает разрыв молекулы и дальнейшее протекание реакции.

Таким образом, атомистика Дальтона, теория химического строения, стереохимия, кристаллохимия, катализ — все разделы химической науки не только утверждают объективность пространства, но и раскрывают конкретные формы взаимосвязи и обусловленности физико-химических свойств вещества с пространственным расположением образующих его атомов, атомных групп и молекул. Изучение пространственных структур, геометрии молекул, длин и направленностей химических связей служит основой познания химических веществ и их превращений.

Представление о времени внедрялось в химию медленнее. Это объяснялось двумя причинами: во-первых, тем, что статическое изучение вещества, как уже отмечалось, исторически предшествовало исследованиям механизмов реакций, динамики; во-вторых, учения о ходе химических реакций во времени — кинетика, теория переходных состояний, промежуточных стадий — возникли и развивались позднее. В. Оствальд еще в конце XIX в. заметил по поводу медленного внедрения в химию фактора времени: «Кинетика разработана значительно менее, чем статика. Причину этого следует искать в том, что в кинетике приходится принимать во внимание элемент времени, и потому в ней сравнительно со статикой одной переменной больше; этим обусловливается большая сложность задач кинетики» [1]. Однако он тут же подчеркивал мысль о преобладании в будущем развития кинетики, ибо, по его мнению, «путь химического процесса представляет более широкое поле для исследований о свойстве химической системы» [2].

Американский химик О. Т. Бенфи справедливо заметил, что «стремление понять «процесс» превращения и ввести измерение времени в химию имеет длинную историю» [3]. Понятие времени, с его точки зрения, в химические концепции вводилось постепенно, через изучение явления диффузии, связанное со временем, через первый закон термодинамики, рассматривающий переход одних видов энергии в другие, через второй закон термодинами-

---

[1] В. Оствальд. Основания теоретической химии. М., 1902, стр. 218—219.

[2] Там же, стр. 219.

[3] О. Т. Бенфи. Концепция времени в химии, стр. 186.

ки (если характер направления превращения первым законом не объяснялся и время лишь отделяло состояние «до» превращения от состояния «после» превращения и никакой необходимой связи между характером события и временем не имелось, то второй закон уже по своему смыслу требует взаимосвязи характера события со временем).

В плане химических превращений это означает, что вещество при данных конкретных условиях подвергается совершенно определенным химическим изменениям. При этом этапы или стадии этого изменения следуют друг за другом в строго установленной временной последовательности. Иначе говоря, общая тенденция химических превращений имеет вполне определенную направленность. В отличие от трехмерного пространства основное свойство времени — его одномерность и строгая направленность от прошлого к будущему. Это следует и из теории относительности, но в химии данное положение находит конкретный смысл.

Важнейшим моментом, утвердившим время как необходимый фактор химических превращений, было возникновение химической кинетики. Если с помощью второго закона термодинамики было возможным в принципе, исходя из данного состояния химического явления, предсказать его будущее состояние, то установление количества времени, необходимого для этого, исключалось. Лишь в кинетике была введена мера, единица времени. Кинетика, как пишет О. Т. Бенфи, «использует концепцию времени, включающую единицу времени, относительно которой измеряется количество химического изменения за единицу времени»[1].

Объективный характер времени неопровержимо подтверждается химическими процессами. Все они протекают не только в некотором временном интервале, но большинство из них характеризуется многостадийностью, определенной последовательностью фаз, различными скоростями образования промежуточных продуктов, периодом их существования. Так, простейший процесс получения серной кислоты схематично проходит три фазы: первая — получение сернистого газа из руд, содержащих серу, вторая — окисление сернистого газа до сер-

[1] О. Т. Бенфи. Концепция времени в химии, стр. 118.

ного ангидрида и, наконец, третья — взаимодействие последнего с водой и образование серной кислоты. Каждая из этих фаз, или стадий, качественно отлична от предыдущей, хотя и вытекает из нее, отличается по длительности.

Учение диалектического материализма о материи, о формах ее существования утверждает, что движущаяся материя, пространство и время находятся между собой в неразрывной органической связи. Это не только подтверждается специальной теорией относительности, но находит свое отражение в законах химической кинетики. Дифференциальные уравнения скоростей реакций включают в себя производные от концентрации по времени. Уже простейшее выражение для скорости химической реакции $v = \frac{dc}{dt}$ раскрывает, таким образом, единство пространства и времени. Действительно, скорость химической реакции характеризуется изменением концентрации исходных веществ в единицу времени. Но концентрация — это количество вещества (число молекул) в единице объема (пространственный параметр) реагирующей смеси. Следовательно, скорость любой реакции выражается через пространственные и временные параметры. Этим выражается в химии связь пространства и времени.

Любое превращение вещества (химическая реакция) представляет собой процесс, развертывающийся в некотором объеме. Возникновение этого процесса зависит от столкновения реагирующих молекул, которые должны обладать необходимой энергией и быть определенным образом ориентированы пространственно друг по отношению к другу. В химической кинетике необходимость для осуществления реакции определенной взаимной ориентации реагирующих молекул при их столкновениях учитывается введением в выражение для скорости химической реакции специального коэффициента, стерического (пространственного) множителя. Как известно, игнорирование влияния стерического фактора может привести при оценке скорости реакции иногда к ошибкам во много раз. Следовательно, связь пространства и времени в химии прослеживается и через влияние структуры реагирующих веществ и их расположения в пространстве на скорость химической реакции.

Важнейшей характеристикой, определяющей скорость химической реакции, является «число актов реакции, происходящих за единицу времени в *единице объема* фазы,— в случае гомогенной реакции или *на единичной поверхности* раздела — в случае гетерогенной реакции» [1]. Скорость гомогенной реакции также часто измеряется «изменением числа молей одного из исходных веществ или продуктов реакции и выражается в единицах *моль/см*$^{-3}$ *сек*$^{-1}$» [2]. Эта реальная связь размерностей отражает объективное существование превращающегося (движущегося) вещества в пространственно-временной форме. Таким образом, полностью подтверждается положение В. И. Ленина: «В мире нет ничего, кроме движущейся материи, и движущаяся материя не может двигаться иначе, как в пространстве и во времени» [3].

Но из этого также следует, что время и пространство — не одинаковые формы существования материи. Они имеют ряд общих свойств: они объективны, т. е. существуют вне и независимо от сознания, вечны, поскольку вечна материя, не имеют конца и начала. Однако это качественно различные формы бытия движущейся материи. Каждая из них обладает своими характерными свойствами и размерностями. Во введении к «Диалектике природы» Ф. Энгельс подчеркнул разницу в содержании понятий пространства и времени. Сосуществование различных форм движущейся материи «в форме расположения одного *подле* другого», отмечал он, выражается в пространстве, а последовательные изменения ее качественных состояний «одного *после* другого» [4] — во времени. В этом различие, а также диалектическое единство и неразрывность материи и форм ее существования — пространства и времени.

---

[1] «Краткая химическая энциклопедия», т. 2. М., 1963, стр. 560 (курсив мой. — *Н. Б.*).

[2] Там же.

[3] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 181.

[4] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 351 (курсив мой. — *Н. Б.*).

Глава вторая

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНЫ И ТЕОРИИ ХИМИИ, ИХ ФИЛОСОФСКИЙ СМЫСЛ

Закон, как известно, есть объективная, существенная и повторяющаяся связь между явлениями, телами и их свойствами. Эта связь не случайна, она носит необходимый и общий характер, т. е. при одинаковых условиях всегда и везде имеет место.

Познание закона природы означает правильное отражение в сознании и использование его в процессе практической деятельности. Законы науки, следовательно, есть не что иное, как идеализированные образы объективных законов материального мира. Они не привносятся мышлением, а существуют объективно в самих вещах и явлениях. Материализм, по словам В. И. Ленина, и есть «признание объективной закономерности природы и приблизительно верного отражения этой закономерности в голове человека» [1].

Бесконечное качественное многообразие форм материи и связанное с этим многообразие форм ее движения обусловливает качественное многообразие законов, их несводимость друг к другу. Иначе говоря, законы различных в качественном отношении явлений имеют свои особенности. Законы химической формы движения установлены при изучении макросистем и действуют, как уже указывалось, в процессах превращения больших масс частиц, т. е. вещества. Поведение отдельной молекулы, атома, радикала, иона или элементарный химический акт между ними обусловлены действием динамических закономерностей, столь характерных для многих физиче-

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 159.

ских явлений. Иной характер имеют закономерности целого ансамбля этих частиц (вещества) или совокупность большого числа элементарных химических актов одного порядка (химическая реакция между веществами).

Каждая частица химического вещества, вступающая во взаимодействие, ее состояние, каждый элементарный химический акт, совершающийся между отдельными частицами в совокупности их, индивидуальны, единичны, случайны по отношению к развитию и состоянию ансамбля частиц (вещества) в целом. В то же время каждое состояние частицы, каждый элементарный акт содержит в себе нечто общее, необходимое, возникшее в результате суммирования большого числа единичных явлений и выражается особой, статистической закономерностью.

Следовательно, противопоставлять статистическую закономерность динамической неправильно. Между ними существует тесная связь. Ведь единичный объект, явление (атом, молекула, элементарный химический акт и т. д.), поведение которого подчиняется динамическим (квантово-механическим) закономерностям, находясь в числе многих таких же объектов, актов, подчиняется и качественно иным, статистическим, закономерностям.

В химии эта связь между элементарным химическим актом и процессом, в котором участвуют массы молекул, выступает весьма наглядно. Одной из особенностей химии и является то, что многие свойства, как бы ни казались они микроскопическими, такие, например, как «энергия связи, химические превращения, структура, изучаются в большинстве случаев на достаточно больших количествах вещества»[1]. Установленные для большого числа частиц (порядка числа Авогадро), эти понятия и свойства относятся и к отдельным молекулам. Конечно, происходит процесс абстрагирования, при котором допускается определенное упрощение, не принимаются в расчет существенные изменения в свойствах и поведении вещества, неизбежные при переходе от масс частиц к отдельным частицам, от процесса к элементарному хими-

---

[1] В. А. Штофф и Р. Б. Добротин. Изложение вопросов философии в курсе общей химии. «Лекции семинара по повышению научной и методической квалификации преподавателей курса общей химии». М. — Л., 1966, стр. 8.

ческому акту. Но подобная идеализация в применении понятий и законов химии является весьма плодотворной при качественных определениях и количественных расчетах химических процессов и, следовательно, вполне практически оправданной. Переход от элементарного химического акта к реакции между массами вещества, от динамических к статистическим закономерностям, безусловно, означает качественный скачок.

Итак, качественно новый характер процессов химического превращения веществ получает отражение в подчинении их особым закономерностям. К химическим явлениям как к ансамблям частиц применима теория случайных процессов. Причем отдельные отклонения (индивидуальные, элементарные химические акты) от статистического среднего значения настолько несущественны, что выводы теории вероятности приобретают силу закона. Поэтому химические законы, поскольку они относятся в основном к суммам частиц (веществу) или совокупности элементарных химических актов (реакции), носят статистический характер.

Законы стехиометрии

Законами, с которыми в значительной степени связано становление химической науки, являются, в первую очередь, законы стехиометрии. Сама идея о закономерном характере химических явлений и процессов впервые реализовалась в открытии М. В. Ломоносовым и А. Лавуазье закона сохранения веса (массы) вещества. Открытием количественных законов в период, охватывающий первые шестьдесят лет XIX в., был упрочен фундамент научной химии, заложенный еще Р. Бойлем, М. В. Ломоносовым и А. Лавуазье. Возникла возможность плодотворного изучения элементов и их отношений в химических соединениях.

Уже к началу XIX в. накопилось много данных о составе отдельных веществ и их изменениях. Были хорошо известны и описаны 32 элемента, в том числе такие важнейшие, как кислород, водород, азот, хлор и др.; открыт закон сохранения веса вещества (массы) при химических реакциях; определен состав воздуха и воды. Химия явно перерастала рамки чисто эмпирической науки. Вставала неотложная задача подведения единой теоретической базы под весь опытный материал, вскрытия внутреннего смысла открытых законов. Это можно было сделать,

лишь выяснив связь между составом вещества и его внутренним строением.

Решению этой исключительно важной для химии проблемы способствовало эмпирическое установление правил количественных отношений, в которых вещества соединяются между собой. Позднее они получили название законов стехиометрии (паев, постоянства состава, кратных отношений). Правило постоянства состава веществ было установлено в результате ожесточенного семилетнего спора между двумя французскими химиками К. Бертолле и Ж. Прустом. Бертолле в результате анализа растворов, которые он считал химическими соединениями, сделал общий вывод, что существуют химические соединения неопределенного, переменного состава. Получалось, что два элемента могут образовать непрерывный ряд соединений с постоянно изменяющимися составами и свойствами.

Пруст утверждал, что состав химически индивидуального вещества всегда один и тот же, независимо от того, каково происхождение этого вещества — естественное или искусственное. Растворы, смеси и сплавы, которые Бертолле рассматривал как химические соединения, Пруст не считал таковыми, хотя и не мог дать ответа на вопрос об их природе. Вывод Пруста был таков: соединение есть продукт, которому природа дала постоянный состав. Природа, заявлял Пруст, даже через посредство людей никогда не производит соединений иначе, как только по весу и по мере. Одни и те же соединения имеют всегда тождественный состав. Внешний вид их может быть различен, но свойства — никогда. Нет разницы между окисью железа из южного полушария и из северного; японская киноварь имеет тот же состав, что и испанская; хлористое серебро из Перу совершенно тождественно хлористому серебру из Сибири; во всем свете имеется только один хлористый натрий, одна селитра, одна сернокальциевая, одна сернобариевая соль [1].

Исследования кислородных соединений олова, сернистых соединений железа и сурьмы, а также опыты с водой подтвердили вывод Пруста. Оказалось, что незави-

[1] См.: Б. Н. Меншуткин. Важнейшие этапы в развитии химии за последние полтораста лет. Л., изд-во АН СССР, 1934, стр. 26.

симо от происхождения и способа получения любое химическое вещество имеет всегда одни и те же свойства, абсолютно одинаковую температуру плавления, кипения, удельный вес. Все это объясняется постоянством его химического состава. Из опытов Пруста вытекало, однако, одно не сразу замеченное следствие. Внимательное изучение результатов анализа кислородных и сернистых соединений металлов показало, что количества различных металлов, присоединяющихся к одному и тому же количеству серы, находятся между собой в тех же отношениях, в каких эти металлы соединяются с одними и теми же весовыми количествами кислорода. Следовательно, кроме постоянства состава, существует пропорциональность весовых количеств тел, вступающих в соединения.

Этот общий закон был впервые открыт немецким химиком И. Рихтером. Сохранение нейтральности при двойном разложении двух средних солей привело Рихтера к мысли, что вещества и в реакцию вступают в определенных количествах. Изучение взаимодействия кислот с основаниями показало, что для нейтрализации каждой кислоты (или основания) требуется вполне определенное количество того или иного основания (или кислоты). Полученные при этом относительные числа и есть паи, или эквиваленты, кислот и оснований, которые показывают, при каких весовых отношениях тех и других происходит реакция с образованием средней соли. Позднее было установлено, что паи для каждого элемента и химического соединения строго определенны.

Здесь проявляется глубокая связь между качественной и количественной сторонами химических веществ. Она-то и выражается в понятии пая как новой химической единицы, учитывающей не только количество вещества, например число граммов, но и его качество, его специфику. Следовательно, химический пай означает переход от абстрактных весовых единиц к новым, чисто химическим единицам. Каждая химическая реакция теперь могла быть представлена как реакция между целыми числами паев веществ. «Как бы ни изменялся порядок реакции, какое бы влияние ни оказывали на ход реакции те или иные факторы, отправным пунктом для осуществления любых химических процессов всегда явля-

ются стехиометрические соотношения реагирующих веществ» [1].

Законы паев и эквивалентов вначале казались чисто эмпирическими. Они были изолированы друг от друга и внутренний смысл их оставался неясен. Так продолжалось до тех пор, пока выдающийся английский физик и химик Д. Дальтон не применил к объяснению химических явлений атомистическую гипотезу. Руководствуясь последней, он первоначально сформулировал теоретически, а затем подтвердил экспериментально третий чрезвычайно важный закон стехиометрии — закон простых кратных отношений.

Он показал, что соединения, образованные одними и теми же элементами, обычно резко отличаются друг от друга по весовому составу, т. е. при переходе от одного соединения к другому, состоящему из тех же элементов, состав меняется скачками. Изменение количественного соотношения между соединяющимися элементами всегда влечет за собой и появление нового вещества, качественно отличного от исходного. Так, окислы азота, хотя и образованы только двумя элементами (кислородом и азотом), качественно отличаются друг от друга. Они представляют собой совершенно различные вещества с разными физическими и химическими свойствами. Аналогично обстоит дело с окислами серы, фосфора, углерода и т. д.

Стехиометрические законы убедительно доказали прерывистое строение веществ. Было экспериментально выяснено, что при определенных количественных изменениях происходят соответственные качественные превращения. Все это сыграло весьма важную роль для утверждения в химии атомистической гипотезы, ибо последняя предполагает, что атом химически неделим и в химической реакции участвует как целое. Атомистика явилась той теоретической базой, на основе которой совершалось все дальнейшее развитие химии. Именно с позиции атомистики удалось разрешить центральный вопрос о том, из каких частичек состоят химические вещества и какая связь между их составом и свойствами.

---

[1] В. И. Кузнецов. Эволюция представлений об основных законах химии. М., 1967, стр. 21.

Дж. Дальтон также установил наличие у атомов такого существенного свойства, как атомный вес. Атом получил характеристику, которая могла быть выражена количественно и, следовательно, так или иначе измерена. Это обстоятельство имело для химии огромное значение. Однако Дальтон признавал существование только одной дискретной частички — атома. Экспериментальные же данные, полученные французским химиком Ж. Гей-Люссаком при изучении процессов соединения газов, говорили о том, что вещество, заключающееся в единице объема простых газов, составлено не из простейших частиц этих газов, т. е. не из атомов.

Чтобы разрешить данное затруднение, итальянский физик А. Авогадро предположил существование сложных частиц — молекул (от лат. moles — масса). Любая молекула должна состоять по крайней мере из двух атомов. Так Авогадро пришел к идее о существовании качественного различия между атомами и молекулами. Атомы известных в то время газов, по мысли Авогадро, никогда не существуют отдельно, а вступают в соединение лишь попарно. Теперь опытные данные Гей-Люссака получили рациональное объяснение. Специально созванный международный съезд химиков в 1860 г. в Карлсруэ (на котором были русские химики Д. И. Менделеев, Н. Н. Зинин и другие) официально принял постановление считать атомом мельчайшую частицу химического элемента, а молекулу, т. е. соединение атомов,— мельчайшей частичкой вещества, обладающей его основными химическими свойствами и способной к самостоятельному существованию.

Молекула явилась основной единицей химии. Открылся путь к действительно научной химической символике, составлению химических формул веществ. Выдающийся шведский химик И. Берцелиус определил с большой точностью атомный вес многих веществ и изобрел условное обозначение атомов различных элементов. Символами стали начальные буквы их латинских названий. Теперь, зная состав молекулы, можно было легко вывести ее формулу, а тем самым и формулу химического соединения, так как молекула выражает состав, строение и все свойства последнего. С введением формул представления о химических превращениях стали более наглядными. Формулы показывали не только количество

атомов того или иного элемента в молекуле вещества, но и описывали их порядок и размещение. При помощи химических формул стали вычислять молекулярный вес вещества, составлять уравнения химических реакций, производить все необходимые количественные расчеты, лежащие в основе различных технологических процессов.

Итак, открытие стехиометрических законов послужило основанием химической науки, способствовало утверждению атомно-молекулярной гипотезы, созданию действительно научной химической символики, составлению химических уравнений, открыло дорогу плодотворным исследованиям способов связывания элементов при образовании соединений, придало химии рациональный характер. В философском плане законы стехиометрии утверждали идею прерывности строения химического вещества, наличие различных ступеней дискретности в его структуре, раскрывали конкретную связь между качественной и количественной сторонами, обусловливающую скачкообразный характер химических превращений. С открытием законов стехиометрии в познании химической формы движения материи произошло углубление в сущность нового, более высокого порядка.

Теория химического строения

Со второй половины XIX в. в истории химии начинается период крупнейших теоретических обобщений. Он по праву открывается созданием А. М. Бутлеровым теории химического строения, лежащей в основе современной органической химии.

Еще в начале XIX в. И. Берцелиус, опираясь на многочисленные анализы, установил действие закона кратных отношений в области веществ органического происхождения. Он же ввел термин «органические соединения» и составил их первые формулы. К этому времени в органической химии был накоплен большой эмпирический материал, но крайне разрозненный и не объединенный единой теорией. Существовавшие представления о структуре органических соединений, характере их химических превращений были поверхностны, односторонни и ни в какой мере не могли объяснить, не говоря уже о том, чтобы предсказать, новые факты и явления.

Это крайне тормозило развитие органической химии. Более того, это способствовало распространению среди химиков-органиков агностических взглядов, настроений;

они считали, что невозможно вообще разобраться в массе не связанных между собой процессов и явлений. Очень ярко положение в химии углеродистых соединений выразил Ф. Вёлер в письме к И. Берцелиусу: «Органическая химия может в настоящее время кого угодно свести с ума, ...она представляется мне дремучим лесом, полным чудесных вещей, огромной чащей без выхода, без конца, куда не осмеливаешься проникнуть».

Берцелиус (а также Ж. Дюма, Ю. Либих), пытаясь обобщить и осмыслить накопившиеся факты, создают одну из первых теорий в органической химии — теорию радикалов. В основе ее лежит свойство определенных сложных групп из атомов углерода и водорода (радикалов) оставаться неизменными при всех реакциях, т. е. переходить из молекулы одного вещества в молекулу другого, подобно элементам неорганической химии. Сущность молекул органических соединений, согласно этой теории, заключалась в разнообразных комбинациях радикалов и связанных с ними различных групп. Однако теория радикалов не разрешила ситуации в органической химии. Вскоре новые факты, в частности открытие реакций замещения, при которых некоторые радикалы легко изменялись, вошли в противоречие с этой теорией. И как всегда, теория, не соответствующая в той или иной степени данным эксперимента, практики, сменилась другой, более развитой.

Французский химик Ш. Жерар отказался от попытки классифицировать органические соединения исходя лишь из их структуры и характера связи. Он вообще критически отнесся к представлениям о внутренней структуре молекулы. Жерар учитывал главным образом состав соединения, придавая ему решающее значение в определении химического поведения частицы. Новая теория Жерара в центр внимания поставила наиболее изменчивые части молекулы и пыталась объяснить те причины, от которых зависит эта изменчивость. Согласно теории Жерара, для органического соединения свойственно не существование некоторых неизменных радикалов, а наличие нескольких характерных типов соединений. При реакции замещения тип соединения может сохраняться, а при других реакциях — изменяться. Типами для образования органических веществ послужили простейшие неорганические вещества. Так был установлен тип воды, аммиа-

ка, водорода, тип хлористого водорода и т. д. Органическое вещество получалось в результате замещения в молекуле определенного типа одного или нескольких атомов на группы атомов.

Теория типов абсолютизировала и подчеркнула другую сторону такого сложного диалектического единства, которым является молекула органического соединения, — наличие в ней изменчивой функциональной группы. Эта теория, несмотря на шаг вперед в объяснении и охвате фактов органической химии, страдала односторонностью, формализмом, как и теория радикалов. С накоплением опытного материала, открытием новых веществ приходилось вводить усложнение в теорию типов, относить одно и то же вещество, чтобы объяснить все его свойства, к нескольким типам и т. д. Количество типических формул катастрофически увеличивалось. Все это вызывало невообразимую путаницу, особенно после открытия веществ с несколькими функциональными группами. Теория типов зашла в тупик и стала тормозить развитие химии.

Жерар и его последователи сомневались в возможности определения строения молекулы с помощью химических методов исследования, указывая, что в ходе химического превращения молекула претерпевает изменение и становится иной. Сторонники теории типов писали разные формулы для одного и того же вещества в зависимости от реакций, в которые оно вступает. Таким образом, возможность выяснения строения молекулы отвергалась принципиально. Утверждалось, что рациональные формулы вещества являются лишь формулами превращения, но не формулами строения, т. е. выражать расположение атомов в молекуле они не могут.

Итак, и теория радикалов, и теория типов метафизически абсолютизировали и односторонне отражали каждая какую-либо одну из объективно существующих сторон химического явления. Диалектическое единство, взаимосвязь сторон эти теории не охватывали и не раскрывали. Поэтому они не могли служить научной основой, руководящей нитью в познании соединений и явлений органической химии.

В 60-х годах XIX в. А. М. Бутлеров на принципиально иной основе создает современную теорию химического строения органических соединений. Он решительно вы-

ступил против взглядов, отрицавших существование атомов и возможность познания молекул вещества. Весь фактический материал науки, с его точки зрения, не только давал право, но и обязывал говорить о частицах вещества, атомах со всеми их отношениями как о существующих реально. «Мы смело можем утверждать, что они сохранят известное отношение к тому, что действительно существует в объективном мире и познается нами обычным путем наблюдения, опыта и мышления»[1]. И далее: «Что бы значила, спрашивается, любая из наших формул с ее атомными знаками, если бы понятие об атоме не соответствовало для нас некоторой определенной реальности»[2].

Как видно, А. М. Бутлеров подошел к решению вопроса со строго материалистических позиций. Он указал на объективное существование атомов и на возможность их познания с помощью «наблюдения, опыта и мышления». Естественно, что при такой постановке вопроса общетеоретическим фундаментом учения А. М. Бутлерова явились материалистические представления о прерывистом строении вещества, т. е. атомистика.

Критикуя агностическое положение теории типов о непознаваемости молекулы, А. М. Бутлеров показал, что природа молекулы определяется природой и расположением атомов, т. е. вполне определенной структурой, порядком связей атомов, составляющих молекулу. Строение молекулы определяет химические свойства вещества. Изучая последнее через реакции, в которые вещество вступает (соединения — синтезы, разложения — анализы, двойного обмена — замещения), можно познать строение молекул.

Таким образом, оказалось возможным установить строение молекулы через исследование химических превращений вещества, и наоборот, зная строение молекулы, предсказать свойства вещества и его реакции. Поскольку каждое химическое соединение обладает своими особыми, присущими только ему одному свойствами, то оно отличается и характерным только для него одного расположением атомов в его частице.

---

[1] А. М. Бутлеров. Избранные работы по органической химии. М., 1951, стр. 440.
[2] Там же.

А. М. Бутлеров категорически отвергал субъективно-идеалистические взгляды А. Кекуле, Н. А. Меншуткина и других, отрицавших объективный характер химических формул, считавших их одним из способов описания химических явлений, подобных арифметическим действиям. «Что бы значили «арифметические действия» в реальной науке, — писал А. М. Бутлеров, — если бы они ничему объективному, существующему в природе не соответствовали?»[1] Для него была характерна убежденность в объективном содержании химических формул, в правильности отражения ими объективной сущности химических явлений, в возможности познания этой сущности через строение.

Основные положения новой теории А. М. Бутлеров сформулировал в статье «О химическом строении органических веществ» (1861): «Исходя от мысли, что каждый *химический* атом, входящий в состав тела, принимает участие в образовании этого последнего и действует здесь определенным количеством принадлежащей ему химической силы (сродства), я называю *химическим строением* распределение действия этой силы, вследствие которого химические атомы, посредственно или непосредственно влияя друг на друга, соединяются в химическую частицу»[2]. И далее: *«Химическая натура сложной частицы определяется натурой элементарных составных частей, количеством их и химическим строением»*[3]. Так по-новому определяет А. М. Бутлеров природу химического вещества. Это принципиальное положение легло в основу дальнейшего развития органической химии. Из него следует, что введенное А. М. Бутлеровым понятие химического строения вещества включает представление о расположении атомов и распределении связей в молекуле, а также о взаимном влиянии отдельных атомов и атомных групп в молекуле.

Итак, сущностью органических соединений, согласно теории Бутлерова, является химическое строение молекул. Именно оно определяет все многообразие явлений, которые не могли быть объяснены теорией радикалов и

---

[1] А. М. Бутлеров. Избранные работы по органической химии, стр. 447.

[2] Там же, стр. 71—72.

[3] Там же, стр. 72.

типов. Краеугольным камнем новой теории явилось положение о тесной связи химических свойств вещества (явлений) со строением (сущностью) его молекул. Глубокая внутренняя диалектика, присущая частице вещества, наконец была вскрыта.

Возникновение теории химического строения знаменовало качественно новый этап в развитии химической науки. Теория А. М. Бутлерова вобрала в себя все то положительное, что имелось у его предшественников. Признав существование радикалов, способных при химических превращениях переходить без изменения из одной молекулы в другую, она отбросила ошибочное, метафизическое положение об абсолютной неизменности, прочности радикалов. В отличие от Д. Дальтона, А. М. Бутлеров признает качественно различные ступени делимости, или дискретности, материи — атом и молекулу, что вытекает не только из всей его теории строения, которую по существу можно назвать теорией строения молекулы, но и из самого определения, которое он дает этим частицам. А. М. Бутлеров пишет: «Понятие об атоме — величине, неделимой химически, — и понятие о частице — величине, неделимой физически, но делимой химически, — должны быть строго разграничены одно от другого» [1].

Рядом блестящих экспериментальных работ А. М. Бутлеров шаг за шагом доказал не только применимость теории строения к различным классам органических соединений, но и принципиальную правильность ее основных положений. На основе своей теории А. М. Бутлеров не только впервые научно обосновал явление изомерии, т. е. того факта, что вещества, обладающие различными химическими свойствами, имеют одинаковый, установленный анализом состав и одинаковую эмпирическую формулу, явившегося пробным камнем его теории, но и теоретически подсчитал возможное число изомеров для данного соединения, а затем многие из них получил экспериментально.

Изомерию Бутлеров рассматривает как следствие строения молекулы: «Понятие о химическом строении, весьма твердо опирающееся на факты, приводит нас здесь a priori к допущению возможности существования ве-

---

[1] А. М. Бутлеров. Основные понятия химии. СПб, 1902, стр. 35.

ществ, имеющих совершенно одинаковый состав и одинаковую величину частицы и тем не менее совершенно различных между собой в силу различного химического строения. Это случай так называемой вообще *изомерии* или, в частности, случай *метамерии*. Очевидно, что принцип химического строения, заранее указывающий даже химический характер изомеров, должен считаться вполне объясняющим обыкновенные явления изомерии сложных веществ» [1].

А. М. Бутлеров прекрасно понимал, что действительно научная теория, кроме удовлетворительного объяснения существующих фактов, должна предвидеть новые. К такой проверке своей теории строения он и приступил. Сначала он предсказывал существование изомеров, а затем синтезировал их. Так, Бутлеров предсказал возможность наличия нескольких изомеров бутилена и бутана, а затем синтезировал их, чем практически доказал верность теории. «Теория здесь идет, следовательно, дальше, чем опыты, но последние должны решить вопрос, все ли теоретически возможные алкоголи могут существовать в действительности» [2]. Теория, по А. М. Бутлерову, является орудием научного предвидения, а практика (в данном случае эксперимент) есть критерий истины. Эти представления вполне соответствуют материалистической теории познания.

А. М. Бутлеров не только создал и блестяще развил теорию химического строения, но и сумел предсказать ее дальнейшую судьбу. В будущем, говорил он, теория химического строения сменится другой, более широкой теорией, сегодняшний взгляд на химическое строение «падет», но «падет» не для того, чтобы исчезнуть, а для того, чтобы войти в измененном виде в круг новых и более широких воззрений. В этом виден не только глубокий материализм А. М. Бутлерова, но и его стихийно диалектический подход к пониманию процесса познания.

Действительно, диалектика процесса познания такова, что в ходе производственной и научной деятельности происходит непрерывное уточнение, углубление и разви-

---

[1] А. М. Бутлеров. Избранные работы по органической химии, стр. 425.

[2] Там же, стр. 130.

тие объективного содержания уже известных теорий и законов. Новые опытные данные, экспериментальные факты неизменно обогащают теории и законы представлениями и выводами, соответствующими современному состоянию науки и практики. Это раздвигает пределы наших представлений о действиях теорий и законов, позволяет сделать еще один шаг к абсолютной истине.

Столетие прошло с тех пор, как А. М. Бутлеров высказал свои замечательные идеи. Это была пора великих открытий и небывалого прогресса науки. За истекшее время во многом углубились и изменились представления о природе и сущности химической связи, о процессах ее образования и разрушения, о характере взаимного влияния атомов или групп атомов друг на друга. Атом из абстрактного понятия — частицы «наименьшего количества химического элемента» — превратился ныне в такую же обычную реальность, как реактивные самолеты и космические спутники Земли. Химия получила много новых экспериментальных фактов, связанных с чрезвычайной химической активностью некоторых соединений и исключительной устойчивостью определенных групп атомов.

Теория А. М. Бутлерова в первоначальном ее виде не могла объяснить, например, почему не получаются экспериментально некоторые предсказанные ею изомеры и, наоборот, получаются тогда, когда их, казалось, нельзя ожидать, или почему так устойчив бензол и его гетероциклические аналоги. Ответ на эти вопросы был найден, когда в 1874 г. благодаря работам Я. Г. Вант-Гоффа и Ж. А. Ле Беля было расширено представление об изомерии, высказано предположение о различном пространственном расположении атомов в молекулах различных изомеров. Структурная теория, таким образом, была перенесена из плоскости в пространство, послужив путеводной звездой для создания стереохимии. В свете новейших квантово-механических представлений о строении молекул удалось выяснить направленность и насыщенность химических связей, а явления образования и разрушения последних предстали как следствия образования и разрушения, взаимных переходов и смещений электронных пар.

Дополненная стереохимией, квантово-механическими, электронными представлениями, рядом важнейших уточнений, добытых химиками-органиками на протяжении ве-

ка, теория строения А. М. Бутлерова остается и поныне основным теоретическим оружием в органической химии. Установление того факта, что все без исключения химические вещества имеют определенное строение, имело большое значение для развития философии. Это, в частности, явилось одной из естественнонаучных предпосылок для разработки и обоснования в дальнейшем такой философской категории, как структура.

Периодический закон элементов

Ко второй половине XIX в. в достаточной степени была подтверждена достоверность атомной гипотезы; в химии утвердились понятия атома и молекулы; на основе атомистических представлений были раскрыты основные законы образования сложных химических веществ из элементов; были изучены свыше 60 элементов, описаны их свойства и более или менее точно определены атомные веса. Назревала насущная необходимость синтезировать весь накопленный материал.

Первые попытки классификации основывались на резко выраженных физических и химических свойствах (например, металлы и неметаллы — А. Берцелиус, 1815), на выделении отдельных групп, или рядов, сходных между собой элементов (например, щелочных металлов, галогенов — триоды И. Дёберейнера, 1829). Дж. Ньюландс предложил закон октав (1863), Л. Майер и У. Одлинг (1864) размещали химические элементы в таблицы исходя из различия в их атомных весах.

Но все эти ученые преследовали ограниченную цель — удобнее классифицировать элементы. Пытаясь объединить их в сходные группы, они не видели связи между этими группами. Никто из них не уловил за отдельными закономерностями объединяющего их фундаментального закона, опираясь на который можно было бы предсказать существование новых, еще не открытых элементов, двигать вперед развитие научной мысли в области познания химических свойств элементов и образуемых ими веществ. По существу элементы продолжали оставаться случайным скоплением, не объединенным единой системой, не связанным общей закономерностью.

Д. И. Менделеев прежде всего четко определил понятие «элемент». Он отграничил его от «простого тела» и, что самое главное, связал с учением об атомах. По мнению Менделеева, простое тело есть нечто материальное —

металл или неметалл, одаренное физическими свойствами и химической деятельностью. Понятию простого тела отвечает молекула, состоящая из атомов. Элементами же называются те составные части простых и сложных тел, которые обусловливают их физическое и химическое отношение. Элементу соответствует понятие атома. Так, углерод есть элемент, но уголь, графит, алмаз — суть простые тела.

Следовательно, простое тело состоит из молекул, сложенных из химически одинаковых атомов, а химический элемент складывается из атомов и имеет свой атомный вес.

Согласно теории строения и всем имеющимся эмпирическим данным, химические свойства соединений зависят от свойств образующих их элементов. Какое же свойство атомов элемента является основным, определяет все остальные свойства атома, а значит, и элемента, позволяет отличать атомы одного элемента от атомов другого? Исследования, проведенные до установления сложной структуры атома, показали, что таким решающим, главным свойством является атомный вес элемента. Именно на этом фундаментальном свойстве, связанном с самой природой элемента, должна быть и основана, по мнению Менделеева, научная система элементов. Сущность ее заключалась, с его точки зрения, в раскрытии характера связи между атомным весом (массой атома) как количественной определенностью элемента и всей совокупностью его химических свойств как качественной определенностью.

Идея о том, что атомный вес элемента является его определяющим свойством, в самом общем виде высказывалась и до Менделеева. Но только он, изучив весь предшествующий теоретический и эмпирический материал, с присущей ему исключительной способностью к глубоким обобщениям и умением выделять основные, решающие связи в сложной цепи явлений, установил характер зависимости химических свойств элемента от его атомного веса.

Существо своих открытий он изложил в следующих положениях:

«1) Элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную *периодичность* свойств.

2) Сходственные по химическим отправлениям элементы представляют или близкие атомные веса (подобно Pt, Jr, Os), или последовательно и однообразно увеличивающиеся (подобно Rb, Cs).

3) *Величина* атомного веса определяет характер элемента...

4) Должно ждать открытия еще многих *неизвестных* простых тел, например, сходных с Al и Si...

5) Величина атомного веса элемента иногда может быть исправлена, зная его аналогии.

6) Некоторые *аналогии* элементов открываются по величине веса их атома»[1].

Кратко сущность периодического закона Д. И. Менделеев сформулировал так: *«Свойства простых тел, также формы и свойства соединений элементов, находятся в периодической зависимости... от величины атомных весов элементов»*[2]. Данная формулировка раскрывает центральный принцип, лежащий в основе периодического закона, — единство и взаимопереход количества в качество. Менделеев глубоко понимал существо этой важнейшей закономерности. «*Правильное и постепенное изменение в величине атомного веса,* — указывал он, — *влечет за собою... правильное и постепенное изменение* как в качественной, так и в количественной *способности элементов к соединениям...*»[3] Иначе говоря, в зависимости от изменения атомного веса элемента (количественная характеристика) закономерно изменяются и его химические свойства (качественная характеристика). Качество и количество, с точки зрения Менделеева, — это две неразрывно связанные между собой характеристики элемента. Изменение одной из них закономерно вызывает изменение другой. «По удельному весу растворов, — писал Менделеев, — зная качество веществ, их образующих, можно судить о количестве, или зная количество — о качестве, хотя последнее и труднее»[4].

Закон перехода количества в качество в периодической системе обнаруживается не только при непрерыв-

---

[1] Д. И. Менделеев. Основы химии, т. 2. М. — Л., 1947, стр. 381—382.

[2] Там же, стр. 80—81.

[3] Д. И. Менделеев. Избр. соч., т. 2. Л., 1934, стр. 110.

[4] Д. И. Менделеев. Избр. соч., т. 3. Л., 1934, стр. 6.

ном переходе от элемента к элементу начиная с водорода; он проявляется также в периодах и группах. Но если периоды построены по принципу возрастания атомных весов расположенных в них элементов, то в группах объединены элементы — химические аналоги, т. е. качественно сходные. Единство периодов и групп, характерное для периодической системы и выражающееся в переходе от одной естественной группы к другой, основано на действии единого закона перехода количественных изменений в качественные. Действие этого основного закона диалектики прослеживается и в главных группах, и в подгруппах периодической системы. Д. И. Менделеев на примере подгруппы Li в первой группе и подгруппы бериллия во второй группе показал, что изменение свойств элементов этих групп связано с изменением их атомных весов.

Д. И. Менделеев указал также на скачкообразный переход от одного качественного состояния к другому в результате количественных изменений. При этом он отметил разницу в характере скачков при переходе от элемента к элементу внутри периода (малые качественные скачки) и при переходе от периода к периоду (резкие скачки). Именно скачки, по его терминологии «переломы и переделы», всего характернее для химических явлений, наиболее ярко выражают их специфику. Эти исследования Д. И. Менделеева дали богатый естественнонаучный материал для разработки философских вопросов, касающихся типов скачков, единства прерывности и непрерывности в строении материи и т. д.

В периодической системе ярко проявляется также важнейший закон диалектики — закон единства и борьбы противоположностей. Так, вопреки существовавшему ранее мнению о резком и абсолютном разграничении металлов и неметаллов (металлоидов) Д. И. Менделеев показал, что это различие не абсолютно, что между ними существует и тесная связь, взаимные переходы. Металлы и неметаллы Д. И. Менделеев диалектически объединил в одном периоде (Na — Cl) и даже в одной группе (IV гр. C, Si, Sn, Pb или VII гр. — F, Cl, Mn), причем сделал он это сознательно, так как, опираясь на периодический закон, был уверен, что каждый элемент есть единство разнообразных и противоположных свойств, из которых то или иное проявляется в зависимости от условий. При этом Д. И. Менделеев ссылался на многочис-

ленные примеры, показывающие, как один и тот же элемент в одних соединениях выступает как металл, в других — как неметалл (Mn, Zn, S, Pb, Bi и т. д.). Он раскрыл диалектику отношения элементов как в периодах, так и в группах, показав, что каждый период представляет собой единство противоположных, разнообразных по свойствам элементов, причем на концах периодов были размещены наиболее разные по качеству элементы, а в серединах — элементы, наиболее сходные между собой; каждая группа также представляет собой единство противоположностей, объединяя разные подгруппы (1 группа — подгруппу Li и подгруппу Cu, 2 группа — Be и Zn и т. д.).

Периодическая система элементов ярко отражает действие закона отрицания отрицания в специфической для химии форме и действие других диалектических закономерностей (единства единичного и общего, строения и свойств и т. д.).

Современная атомная физика и химия более глубоко вскрыли содержание периодической системы, развили ее, дали ответ на те вопросы, которые оставались еще не ясными. В частности, причина химической периодичности не могла быть раскрыта в рамках только химии. Развитие физики, связанное с изучением рентгеновских спектров, радиоактивности и строения атома (Г. Мозли, Н. Бор, В. Паули), позволило вскрыть физический смысл периодического закона. Основная сущность этого закона «заключается в том, что идущее по мере увеличения положительного заряда ядра (а следовательно, и числа внешних электронов) *последовательное развитие атомных структур протекает с периодическим образованием сходных электронных систем.* Поэтому все свойства, связанные с распределением электронов в атомах, должны также изменяться периодически» [1]. Не атомный вес, а заряд ядра является основной характеристикой атома, само периодическое повторение аналогичных особенностей в свойствах элементов и форм их соединений в молекулах есть следствие периодичности в строении электронных оболочек.

Периодический закон оказался не только основой химической классификации и систематики, исходным пунк-

---

[1] Б. В. Некрасов. Курс общей химии. М., 1960, стр. 836.

том в изучении химических свойств элементов и форм образуемых ими соединений, он открыл также путь к познанию и овладению внутриядерными процессами. Трансурановых элементов не было в таблице, составленной Д. И. Менделеевым, их не существовало на земле в свободном состоянии, их синтезировали, получили искусственно, но ключом к этому послужил закон Д. И. Менделеева. Эти элементы не нарушили основ периодической системы, в ней оказались для них соответствующие места. Из этих новых радиоактивных элементов самый тяжелый изотоп 102-го элемента (нобелия) и первый из изотопов 104-го, получивший наименование курчатовий, были синтезированы в 1963—1964 гг. в объединенном институте ядерных исследований в Дубне.

Значение открытия Д. И. Менделеева глубоко оценил Ф. Энгельс. «Менделеев, применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг, который смело можно поставить рядом с открытием Леверье, вычислившего орбиту еще не известной планеты — Нептуна» [1]. Научный подвиг Менделеева, по мнению Ф. Энгельса, состоял в том, что он сделал на основе периодического закона далеко идущие теоретические предсказания. Они дали ключ к опытной проверке закона, на много лет вперед указали развитие химии.

Открытие периодического закона явилось настоящей революцией, качественным скачком в развитии химии. Периодический закон по-новому осветил всю историю науки, связал в единое целое и причинно объяснил многочисленные, казавшиеся до сих пор изолированными и случайными химические факты и открытия, позволил привести в стройный порядок огромный эмпирический материал. Химия встала на прочный теоретический фундамент, приобрела все черты современной науки. «За короткий срок периодический закон буквально завоевал химию. Изменилась тематика научных работ химиков. Проверка отдельных положений и следствий закона, поиски неоткрытых элементов, приготовление и изучение новых, предсказанных законом соединений давно известных элементов, открытие закономерностей, связанных с периодическим изменением свойств простых веществ по

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 389.

мере увеличения их атомного веса, привлекали внимание все большего и большего числа ученых.

Изменились научные труды и учебники по химии. Периодический закон прямо подсказывал план составления учебников — описание химических элементов и их соединений по группам периодической системы. Авторам научных трудов по химии приходилось теперь уделять особое внимание приведению своих открытий в согласие с периодическим законом... Перестроилась система преподавания химии. Впервые за многовековую историю этой науки изложение ее приобрело необыкновенную стройность... Свойства отдельных элементов, которые прежде приходилось заучивать вне связи друг с другом, отныне стали естественно восприниматься как уточнение общих свойств целой группы родственных элементов»[1].

Но область действия периодического закона выходила далеко за пределы химии. Этот закон стал одним из основных законов естествознания. Он составляет фундамент современного учения о строении материи.

Данные о строении атома, полученные современной физикой с помощью эксперимента и квантовой механики, имеют решающее значение для понимания валентности, природы химической связи, объяснения химического сродства. С помощью сведений об электронном строении атома, квантовых чисел найдены такие важнейшие характеристики атома, как ионизационный потенциал, сродство к электрону и электроотрицательность. Знание этих величин позволяет определить химическую природу и реакционную способность атомов элемента, подойти к ответу на коренной вопрос химии, почему атомы сочетаются. На основе знания строения атома получили свое объяснение и дальнейшее глубокое раскрытие многие фундаментальные химические закономерности, в том числе и сам закон Д. И. Менделеева.

Но «необходимо отметить, — пишут М. Х. Карапетьянц и С. И. Дракин, — что сведения о строении атомов, несмотря на их огромное значение для науки, не заменяют периодический закон. Периодический закон дает возможность предсказывать и вычислять такие свойства элементов и их соединений, которые пока не могут быть рассчитаны теоретически на основе данных об электрон-

[1] Б. Степанов. История великого закона. М., 1949, стр. 188.

ном строении атомов и молекул. Очевидно, дальнейшее развитие науки приведет к увеличению возможностей теоретического расчета, но ясно также и то, что оно приведет и к изучению еще большего числа веществ и свойств; поэтому разрыв между тем, что позволяет вычислить теория строения атомов и молекул, и тем, что можно найти с помощью периодического закона, видимо, всегда будет существовать»[1]. Авторы делают правильный, на наш взгляд, вывод о качественном своеобразии различных форм движения, о несводимости химии к физике. «Химия не может быть сведена к физике... *в химии есть ряд своих, только ей присущих закономерностей;* наиболее важной из них является периодический закон»[2].

Являясь основным законом развития вещества, раскрывая генетическую связь различных уровней его структурных образований (ядра атомов, атомы, молекулы, кристаллы), объективную диалектику их взаимопревращений, периодический закон выражает единство материального мира, служит важнейшим естественнонаучным подтверждением материалистической диалектики.

Законы стехиометрии, теория химического строения, периодический закон являются основными законами и теориями, на которых покоится современная химическая наука. На базе этих законов получили объяснение природа химического строения и состава вещества, химические связи, сам характер химических превращений, на их основе стала вырабатываться методология исследования химических веществ и явлений.

Различен был путь открытия законов химии. Законы стехиометрии, как указывалось, были первоначально установлены опытным путем, положение о периодической зависимости было выдвинуто Менделеевым как гипотеза, научная абстракция, которая в процессе изучения накопленного химического материала и в результате длительной опытной проверки превратилась в закон. Некоторые положения химии, ныне известные как законы, явились следствиями более общих положений, выведены из фундаментальных принципов и законов физики. В этом выражается необходимая органическая связь более высо-

---

[1] М. Х. Карапетьянц, С. И. Дракин. Строение вещества. М., 1967, стр. 99.
[2] Там же (курсив мой. — *Н. Б.*).

кой, химической формы движения с более «простыми» формами, изучаемыми физикой. В химических явлениях в диалектически «снятом» виде присутствует, таким образом, предшествующая им молекулярно-физическая форма движения.

Химические явления, поскольку они обладают качественной и количественной определенностью, изучаются в соответствующих аспектах. Это находит свое выражение в условном подразделении законов химии на качественные и количественные. В условном потому, что тот или иной закон, отражая, например, определенную функциональную зависимость между явлениями и их сторонами, будучи количественным, в то же время является и законом специфической химической формы движения, т. е. в этом смысле качественным. Характеризуя это единство, можно сказать, что химический закон является количественным выражением условий качественного перехода.

Исторически обусловленный переход в химии в процессе развития, так сказать, от качественного к количественному этапу привел к особому акцентированию внимания на количественной стороне химических явлений, к установлению законов, отражающих количественную сторону. Возможность количественных определений на основе химических законов означала не только более глубокое познание их сущности, но и новый, более высокий этап в развитии химии. Ибо переход от чисто эмпирического изучения химических фактов, качественной констатации их взаимозависимостей и связей к установлению строгих количественных соотношений между явлениями открыл возможность точно предсказывать течение химических процессов и их результат.

Количественные законы легли в основу многих теорий химии. Так, если на законе постоянства состава построено изучение качественного состава вещества, то закон сохранения массы (веса) вещества послужил базой для химической атомистики, количественного анализа как метода, позволившего точно изучать состав веществ и характер протекающих химических реакций. Количественные законы паев и кратных отношений открыли возможность устанавливать весовые соотношения химических элементов в соединениях, закон Авогадро позволил ввести в химию представление о молекулах, привел к

обнаружению определенной связи весовых количеств различных веществ с объемами, занимаемыми ими в газообразном состоянии, и т. д.

Количественные законы открыли возможность широкого использования методов математики в химии. Математизация химии, математическая (функциональная) форма выражения законов создали не только возможность точного предсказания новых химических явлений и условий для глубоких обобщений, но и возможность моделирования, применения кибернетики. Это открыло широкие, исключительно благоприятные возможности для дальнейшего развития химической науки.

Законы химии, так же как и законы любой другой области научного знания, ограничены в том смысле, что имеют определенные пределы действия. В условиях, например, высоких температур и колоссальных давлений (недра звезд, космических тел), когда отсутствуют стабильные атомы, ионы, радикалы и, следовательно, химические элементы в общепринятом понимании, действие периодического закона, очевидно, как и других химических законов, не имеет места. Следовательно, периодический закон, законы стехиометрии, химического строения и т. д. не абсолютны, а относительны, существуют и действуют лишь в рамках нашей планеты и подобных ей космических тел, т. е. носят исторический характер.

С открытием других, более общих систем материальных объектов периодический закон станет ее частным случаем и превратится, подобно любому другому закону природы, в «историческое изображение изменений, происходящих одно за другим в какой-нибудь мировой системе от ее возникновения до гибели» [1].

Химические законы, будучи специфическими, обладают в то же время всеми общими чертами закона. Они являются могучим эвристическим средством, служат орудием научного предвидения, научного поиска, опорными пунктами и исходным моментом построения новых теорий в химии, ведения дальнейшего научного исследования. В этом заключается важнейшая гносеологическая роль химических (как и всех вообще) законов в познании.

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 553.

История открытия основных законов и создания теорий химии показала, что философской основой при этом явился материализм и стихийная диалектика. Такая исходная философская позиция послужила толчком к созданию основных научных понятий и представлений (об атомном весе, строении молекулы и взаимном влиянии составляющих ее атомов, о периодичности, изомерии и т. д.), объективно отражающих состав и строение химических соединений, существо химических превращений.

Дальнейшие успехи развития химии связаны с диалектическим материализмом, как единственно научной философией и методологией естественных наук.

Глава третья

ПРОЦЕСС ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ И ИНТЕГРАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ

Революция в естествознании на рубеже XIX—XX вв. положила начало новому этапу в давно идущем процессе дифференциации науки, обусловленном как потребностями общественного производства, так и особенностями внутреннего развития и характером самого современного научного знания. Процесс этот в настоящее время все более и более углубляется и убыстряется. Отпочкование, ветвление науки выражается в появлении новых отраслей, в превращении отдельных разделов в относительно самостоятельные научные дисциплины со своими специфическими закономерностями, теориями, проблемами и методами исследования.

Стремительная дифференциация современного естествознания — необходимый закономерный процесс, совершающийся на объективной основе. Она вызвана глубоким проникновением науки в тайны материального мира, различных его областей, быстрым увеличением объема и усложнением знаний. Дифференциация есть отражение движения познания от абстрактного ко все более и более конкретному, детальному знанию, отражение бесконечного разнообразия структурных образований материи, ее свойств, форм, их связей и взаимодействий.

Дифференциация есть также неизбежное явление и в силу действия внутренних законов развития самой науки с момента ее возникновения. Все более и более глубокое проникновение в сущность явлений влечет за собой открытие новых законов, уточнение содержания и пределов действия существующих, создание новых понятий и теорий для объяснения вновь обнаруженных фак-

тов. Этот непрерывно идущий процесс научного исследования и ведет к развитию и обогащению науки, к ее дифференциации.

Одновременно и неразрывно с дифференциацией идет процесс взаимопроникновения различных наук, взаимосвязывание, объединение их в единое целое. Это прямо противоположный дифференциации процесс — процесс интеграции, тесного взаимного переплетения наук, являющийся следствием отражения единства мира, объективно существующей всеобщей взаимообусловленности и взаимосвязи различных форм движения материи, наличия общих закономерностей, все глубже и глубже раскрываемых современной наукой.

Таким образом, дифференциация и интеграция наук есть единый, неразрывно связанный диалектический процесс, обеспечивающий прогресс науки. Дифференциация ведет ныне в конечном счете не к разделению — изоляции отдельных наук, а к их объединению — взаимопроникновению. Это выражается в образовании промежуточных отраслей естествознания, во взаимопроникновении их методов исследования и теорий. Дифференциация и интеграция имеют место и внутри отдельных наук. Это обусловливается накоплением большого эмпирического и теоретического материала в той или иной области, практической его значимостью, применением новых методов исследования, открытием новых материальных структур, носителей форм движения, изучаемых данной наукой и подчиняющихся особым закономерностям, и т. д.

Такова общая объективная основа современного процесса дифференциации и интеграции наук. Этот процесс, связанный с более высоким этапом в развитии современного знания в целом, поставил ряд острых проблем. Возникла необходимость определения предмета новых, «родившихся» наук, уточнения предмета старых, подвергшихся дифференциации, выяснения характера взаимоотношения этих наук. Какова же философская основа решения этих вопросов?

Движущейся материи, как известно, свойственно внутреннее противоречие прерывности и непрерывности, устойчивости и изменчивости (относительности покоя и абсолютности движения). Прерывность движения в научной философии означает признание движения не как чего-то единообразного, а как совокупности несводимых

друг к другу качественно различных форм. При всей своей специфике и различии формы движения не разделены абсолютными гранями. Они неразрывно связаны, переходят одна в другую, порождают друг друга.

На основе всеобщего противоречия прерывности и непрерывности каждой отдельной форме движения материи присуще более частное внутреннее противоречие общего, особенного и единичного. При рассмотрении взаимоотношения конкретных наук, отражающих те или иные формы движения, это противоречие необходимо выступает в виде двух противоположных, неразрывно связанных моментов. С одной стороны, общее, единство наук, отражающих объективную взаимосвязь явлений материального мира, с другой — особенное, их качественное различие. Абсолютизация одной какой-либо из этих сторон неизбежно приводит в тупик. Признание лишь единства ведет к игнорированию качественных особенностей, к сведению одной науки к другой. Учет только качественных различий ведет к изоляции, метафизическому отрыву наук друг от друга. И тот, и другой подход ненаучны, не дают объективного отражения действительности.

Поэтому с позиций диалектического материализма основой научного решения проблемы взаимосвязи наук, определения предмета науки является учет связи моментов единства и качественного различия, диалектики общего, особенного и единичного.

Ветвление химической науки и образование промежуточных разделов

До конца XIX в. химия в основном была единой целостной наукой. Внутреннее ее деление на органическую и неорганическую ветви, связанные общими законами, не нарушило этого единства. Но последовавшие вскоре многочисленные открытия как в самой химии, так и в биологии, особенно в физике, положили начало быстрой ее дифференциации.

Современная химическая наука, опираясь на прочные теоретические основы, непрерывно развивается вширь и вглубь. В частности, происходит открытие и изучение новых, качественно различных дискретных химических частиц. Так, еще в первой половине XIX в. при изучении электролиза были обнаружены ионы — особые частицы, образованные из атомов или молекул, но в отличие от

последних электрически заряженные. Ионы являются структурными единицами многих кристаллов (например, $NaCl$), кристаллических решеток металлов, существуют в газовой среде (атмосфере), в растворах и т. д. Вступая в реакции, ионы, реагируя друг с другом, с атомами и молекулами различных веществ, образуют новые, более сложные соединения.

В начале XX в. химики открыли свободные радикалы как одну из активных форм химического вещества. Они образуются из молекул путем отщепления отдельных атомов или групп и содержат атомы элементов в необычном для них валентном состоянии, например, радикал метил CH_3 или этил $CH_3 - CH_2$ с трехвалентным атомом углерода. Свободные радикалы характеризуются наличием одиночных (неспаренных) электронов, чем и объясняется их исключительная химическая активность, способность к рекомбинации. Свободные радикалы могут вызвать цепную реакцию в молекулах, которые при других условиях являются устойчивыми. Оказалось, что многие процессы (окисление, крекинг, полимеризация непредельных соединений и т. д.) протекают как радикально цепные.

К своеобразным дискретным формам химического вещества относятся также макромолекулы. Они состоят из сотен и тысяч атомов и вследствие этого приобретают в отличие от обычной молекулы качественно новые свойства. К особым образованиям относят и комплексы — определенные сочетания молекул, атомов, ионов.

Итак, в химических процессах, кроме атомов и молекул, участвуют и такие самостоятельные, качественно особые дискретные частицы, как ионы, свободные радикалы, макромолекулы. Подчиняясь действию общих закономерностей химических реакций (законам стехиометрии, валентности, химического строения и т. д.), эти частицы имеют и свои, особые закономерности.

Характерный для новейшей химии, как и для всей науки XX в., процесс глубокой внутренней дифференциации в значительной степени связан с открытием этого качественного многообразия химических частиц. Их строение, превращения и свойства стали предметом изучения специальных разделов химии: электрохимии, химической кинетики, химии полимеров, химии комплекс-

ных соединений, коллоидной химии, химии высокомолекулярных соединений и т. д.

Уже к началу XX в. внутри самой химии четко различаются общая и неорганическая химия и органическая химия. Предметом изучения общей и тесно связанной с ней неорганической химии стали химические элементы, образуемые ими простейшие неорганические соединения и их общие законы (законы стехиометрии, периодический закон, атомно-молекулярное учение и т. д.). Основным стержнем, вокруг которого шло развитие теории неорганической химии, являлся периодический закон. Надо было ответить на вопросы: почему и как атомы комбинируются друг с другом, образуя молекулы и ионные кристаллы; какова связь между свойствами веществ и их атомной структурой.

Широкое изучение обнаруженных в дальнейшем более сложных молекулярных (комплексных) соединений, притяжения ионов центральным ионом привело к выделению из неорганической химии специальной отрасли — химии комплексных соединений.

Сильный толчок развитию неорганической химии дали проникновение в недра атома и изучение ядерных процессов. Особое значение имело выяснение того факта, что расщепление урана-235, плутония-239 и других радиоактивных изотопов ведет к получению изотопов многих элементов, расположенных в середине периодической системы. Поиски элементов, наиболее пригодных для расщепления в атомных реакторах, способствовали исследованию малоизученных и синтезу новых элементов с помощью ядерных реакций. Изучением их свойств, а также физико-химических основ и химических свойств радиоактивных изотопов, методикой их выделения и концентрации занялась радиохимия, возникшая во второй четверти XX в. В результате такого разветвления и специализации область неорганической химии чрезвычайно расширилась. В раздел общей химии вошли основные понятия и законы химии, теории и представления, являющиеся базисом всей химической науки, независимо от ее дифференциации. Не говоря о периодическом законе, к числу таких фундаментальных теорий относятся, например, атомно-молекулярное учение и теория химической связи.

Органическая химия окончательно сложилась в самостоятельную науку во второй половине XIX в. Этому способствовало получение большого эмпирического и теоретического материала о соединениях углерода и его производных. Трудами Я. Берцелиуса, Ю. Либиха, Ф. Вёлера, Ж. Дюма, Ш. Жерара, А. Кекуле, А. М. Бутлерова, Э. Франкленда, Я. Г. Вант-Гоффа, Ж. А. Ле Беля и многих других выдающихся ученых, как показано во второй главе, были раскрыты особенности органических веществ, являющихся в отличие от соединений неорганической химии главными составными частями животных и растительных организмов. При изучении этих веществ были выработаны и развиты специфические методы исследования, открыты новые закономерности, управляющие образованием и превращениями органических соединений (валентность), созданы новые понятия (изомерия, гомология), теории, например, теория химического строения, стереохимическое учение, позволившее глубже проникнуть в природу химических соединений и их превращений, которые сыграли исключительную роль в дальнейшем развитии химии в целом.

Современная органическая химия является наиболее широким полем для химического исследования. К настоящему времени в органической химии зарегистрировано и описано около 3 млн. соединений, в неорганической химии — лишь около 100 тыс. соединений. Почти 90% органических соединений состоят из различных количеств углерода, водорода и кислорода. Многие соединения содержат еще и азот, реже — серу, фосфор, галоиды. Однако в принципе почти каждый элемент может быть встроен в органическое соединение. Это объясняется особыми свойствами атома углерода, из которого состоят скелеты органических соединений.

Определяющим фактором для всех органических соединений являются особенности валентного состояния углерода. Эти особенности объясняют своеобразную способность атомов углерода связываться между собой как одинарной, так и двойной, тройной связью в длинные линейные и разветвленные цепи, образовывать разнообразнейшие циклы. За счет разрыва двойных и тройных связей (при определенных условиях реакции) цепи углеводородов получают свободные валентности, а значит, и возможность соединяться с атомами других элементов

или с целыми молекулярными группами (радикалами). Благодаря бесконечному многообразию форм сцепления углеродных атомов, наличию изомерии и гомологических рядов почти во всех классах органических соединений возможности получения их практически безграничны.

В XX в. во многих разделах органической химии под влиянием бурного развития производительных сил происходило дальнейшее накопление эмпирического материала и интенсивное его теоретическое осмысление. Последующая разработка теории химического строения, дополнение ее стереохимией и электронными представлениями также стимулировали развитие органической химии, способствовали ее глубокой дифференциации. Многие разделы стали постепенно складываться и превращаться в большие, относительно самостоятельные ветви с присущими им своими объектами изучения. К таким специализированным ветвям, основывающимся, разумеется, на общих законах органической химии, обычно относят: химию элементоорганических соединений, химию полимеров, химию высокомолекулярных соединений, химию антибиотиков, красителей, душистых соединений, фармакохимию, химию инсектицидов, гербицидов и стимуляторов роста и т. д.

Начало внутренней дифференциации органической химии было положено еще в конце прошлого столетия. Так, с синтезом и исследованием какодила $(CH_3)_4As_2$ немецким химиком Р. Бунзеном (1846) связывают возникновение химии металлоорганических соединений, т. е. соединений, содержащих одну или более прямых связей металла с углеродом. До конца XIX в. были открыты органические соединения Hg, Cd, Zn, Sn, Pb, Si и многих других элементов. Большую роль сыграл и продолжает играть в развитии этой отрасли и органической химии вообще открытый французским химиком Ф. Барбье (1899) и развитый затем его учеником В. Гриньяром (1903) метод синтеза через магнийорганические соединения (реактив Гриньяра).

Большой вклад в развитие химии металлоорганических соединений был внесен русскими химиками и в первую очередь А. М. Бутлеровым и его учениками А. М. Зайцевым, В. В. Марковниковым, а также М. Г. Кучеровым и советскими химиками А. Е. Арбузовым, П. П. Шорыгиным и особенно А. Н. Несмеяновым. Способность ме-

таллоорганических соединений служить алкилирующими и арилирующими веществами была широко использована А. Н. Несмеяновым и его школой для создания ряда методов синтеза, основанных на обменном или восстановительном взаимодействии металлов, их окислов и солей с металлоорганическими соединениями других металлов. При этом почти во всех случаях были найдены и обратные переходы от полученных металлоорганических соединений к исходным. Этой сетью методов оказались связанными взаимными переходами органические соединения Li, Mg, Zn, Cd, Hg, Al, Sn, Pb, Bi и др. В настоящее время получены углеродистые соединения не только с большей частью металлов, но и неметаллов (фосфор, бор, кремний, мышьяк и т. д.).

Значительно расширившуюся область органической химии, называемую ранее химией металлоорганических соединений, стали ныне называть химией элементоорганических соединений. Так, потребности практики, объективный ход развития самой химии привели к образованию самостоятельного раздела. Подобно тому как физическая химия, возникшая на грани химии и физики, объединила две различных науки, элементоорганическая химия стала промежуточной областью внутри одной науки, между двумя ее основными, различными ветвями — органической и неорганической химией.

Опыт науки показывает, что именно в таких промежуточных областях можно ждать наибольших результатов. Действительно, пограничное положение элементоорганической химии, разнообразие ее методов, многообразие типов связей, богатство химических форм, хорошая реакционная способность изучаемых соединений делает ее наиболее подходящим объектом для выяснения общих вопросов как органической химии, так и химии вообще. Достаточно сказать, что определение первых точных атомных весов многих элементов было значительно облегчено изучением их алкильных соединений. Одной из важнейших основ для установления Э. Франклендом понятия валентности послужил также анализ состава металлоорганических соединений. Это имело большое значение для построения периодической системы элементов, создания теории химического строения.

Образование самостоятельной области, какой является, например, химия элементоорганических соединений,

показало, что между двумя основными разделами химии (органической и неорганической) нет непроходимой грани, что они подчинены общим законам, связаны взаимопереходами. Это полностью соответствует принципам научной философии о материальном единстве мира, его неисчерпаемости вширь и вглубь, взаимосвязи и взаимообусловленности всех его частей.

Самостоятельной отраслью химии является наука о методах определения состава вещества — аналитическая химия. Ее основная задача — определение химических элементов или их соединений, входящих в состав исследуемого вещества, — решается путем анализа. В зависимости от поставленной цели и применяемого метода различают качественный и количественный анализ, а по характеру исследуемого объекта — органический и неорганический анализ. По своим основным методам аналитическая химия делится на две ветви: химическую (макро- и микрохимический анализ, ультрамикроанализ, хромотография) и физическую (спектральный, магнитный, люминесцентный анализ). «Химический анализ, позволяющий установить состав анализируемого вещества, можно также рассматривать как измерение результата химической формы движения материи (химического превращения), мерой которого является изменение состава вещества, а аналитическую химию — как науку об измерении химической формы движения материи» [1].

Без современных методов анализа был бы невозможен синтез новых химических соединений, постоянный эффективный контроль за ходом технологического процесса и качеством получаемых продуктов. Весьма важную роль анализ играет в научном и техническом прогрессе, способствуя развитию таких естественных наук, как, скажем, геохимия, биология, физика, медицина, агрохимия, металлургия и т. д., широко применяющих аналитические методы исследования.

Но аналитическая химия не сводится к простой сумме практических приемов и методов исследования. В связи с практическими задачами химического анализа в ней развиваются и соответствующие теоретические представления, в частности о химическом равновесии и зависимо-

---

[1] А. П. Крешков. Основы аналитической химии, т. I. М., 1965, стр. 17.

сти реакции от среды и условий ее протекания, о количественной стороне окислительно-восстановительных реакций, об условиях образования нерастворимых в данной среде соединений, об условиях образования комплексов и т. д. Это позволяет «сознательно управлять химическими реакциями и создавать необходимые условия для определения всех элементов или их соединений, имеющихся в исследуемой смеси» [1].

Итак, открытие новых дискретных частиц вещества (ионов, радикалов, макромолекул и т. д.), участвующих в химических превращениях, проникновение в недра атома, изучение его структуры и реакций элементарных частиц, дальнейшая разработка теории химического строения, дополнение ее стереохимией и электронными представлениями чрезвычайно стимулировали развитие неорганической и органической химии, способствовали глубокой дифференциации химии в целом.

О связи химии и физики

При установлении взаимоотношений физики и химии и определении предмета этих наук отчетливо выяснились два подхода. Первый выразился в тенденции наиболее точно очертить как область физических, так и область химических явлений с целью их четкого разграничения. Но поскольку в действительности между формами движения, изучаемыми этими науками, нет непроходимой пропасти, то в конечном счете нередко приходят к другому крайнему результату — упускают из виду качественные особенности физики и химии, сводят одну из них к другой. Химию, как изучающую более узкую область материального мира, более специфические явления и свойства вещества, сводят к физике, считают разделом последней.

Второй подход выражается в стремлении при определении сущности физических и химических явлений одновременно выяснить точки соприкосновения изучающих их наук, характер взаимоотношений последних, образуемые ими общие ветви, моменты качественного перехода, раскрыть взаимосвязь физики и химии в плане приложения методов исследования одной из них к проблемам другой. Эта вторая тенденция нам представляется более пра-

[1] Б. П. Надеинский. Введение в аналитическую химию. М., 1953, стр. 3.

вильной и перспективной, соответствующей объективному историческому ходу развития физики и химии.

Взаимопроникновение химии и лидера современного естествознания — физики — ныне совершается особенно интенсивно. Этот процесс сопровождается возникновением все новых и новых многочисленных физико-химических отраслей знания. Уже сейчас ликвидация разрыва между химией и физикой приводит к блестящим результатам, имеющим значение для развития не только этих наук, но и других важнейших областей естествознания, в частности биологии.

М. В. Ломоносов первый поставил вопрос о необходимости связи химии с физикой. «Химик без знания физики, — говорил он, — подобен человеку, который всего искать должен ощупом. И сии две науки так соединены между собою, что одна без другой в совершенстве быть не могут»[1]. Как самостоятельная наука химия оформилась тогда, когда в ней стали применять количественные методы исследования, например взвешивание твердых и жидких тел, измерение объемов газообразных веществ с помощью физических приборов. Основной метод химического исследования — эксперимент. Поэтому с полной уверенностью можно утверждать, что на прочную научную основу химия встала с момента широкого использования физической аппаратуры и методики расчетов.

Чем больше усложнялись химические исследования, тем больше аппаратура и методы расчетов физики проникали в химию. Необходимость измерения тепловых эффектов реакций, развитие спектрального и рентгеноструктурного анализа, изучение изотопов и радиоактивных химических элементов, кристаллических решеток веществ, молекулярных структур потребовали создания и привели к использованию сложнейших физических приборов — спектроскопов, масс-спектрографов, диффракционных решеток, электронных микроскопов и т. д.

Развитие современной науки подтвердило глубокую внутреннюю связь между химией и физикой. Они оказались связанными между собой, во-первых, по происхождению. Связь их носит генетический характер, т. е. образование атомов химических элементов, соединение

---

[1] М. В. Ломоносов. Полн. собр. соч., т. 10. М. — Л., 1957, стр. 140.

их в молекулы веществ произошло на определенном этапе развития неорганического мира, усложнения материальных структур и соответственно их форм движения (например, элементарных частиц), изучаемых физикой; во-вторых, эта связь основывается на общности строения конкретных видов материи, в том числе и молекул веществ, состоящих в конечном счете из одних и тех же химических элементов, атомов и элементарных частиц. Возникновение химической формы движения в природе вызвало в свою очередь дальнейшее распространение и развитие форм движения (тепловой, электромагнитной, механической), изучаемых физикой. На основе периодического закона ныне осуществляется прогресс не только химии, но и ядерной физики, на границе с которой возникли такие смешанные физико-химические ветви, как химия изотопов, радиационная химия.

Физика и химия практически изучают одни и те же объекты, но только с различных сторон. Так, молекула является предметом изучения не только химии, но и молекулярной физики. Если первая изучает ее с точки зрения закономерностей образования, состава, химических свойств, связей, условий ее диссоциации на составляющие атомы и ассоциации последних в молекулы новых веществ, то последняя статистически изучает поведение масс молекул, обусловливающее тепловые явления, различные агрегатные состояния, переходы из газообразной в жидкую и твердую фазы и обратно, не связанные с изменением состава молекул и их внутренних химических связей, и т. д. Сопровождение каждой химической реакции механическим перемещением масс молекул реагентов, выделение или поглощение тепла за счет разрыва или образования связей в новых молекулах, образование веществ в разных фазах, изменения их электрических и оптических свойств убедительно свидетельствуют о тесной связи химических и физических явлений.

С возникновением теории относительности, квантовой механики и учения об элементарных частицах раскрылись еще более глубокие связи между химией и физикой. Оказалось, что ключ к объяснению существа свойств химических соединений, самого механизма превращения веществ лежит в строении атомов, в квантово-механических процессах его элементарных частиц и особенно электронов внешней оболочки. Только на основе познания

этих физических, точнее микрофизических, явлений было выяснено существо многих специфических законов химии, определена природа химической связи, особенности химического строения молекул органических и неорганических соединений и т. д. Именно новейшая физика блестяще решила многие основные, принципиальные вопросы современной химической науки.

В области соприкосновения физики и химии возник и успешно развивается сравнительно молодой из основных разделов химии — физическая химия. Предвиденная еще М. В. Ломоносовым, она окончательно оформилась лишь в последней четверти XIX в. в результате успешных попыток количественного изучения физических свойств химических веществ и смесей, теоретического объяснения молекулярных структур. Экспериментальной и теоретической базой этого послужили работы Д. И. Менделеева (открытие периодического закона, разработка гидратной теории растворов), Вант-Гоффа (термодинамика химических процессов, исследование химического равновесия), С. Аррениуса (теория электролитической диссоциации), В. Оствальда (закон разбавления) и т. д. Предметом ее изучения стали общетеоретические вопросы, касающиеся строения и свойств молекул химических соединений, процессов превращения веществ в связи с взаимной обусловленностью их физическими свойствами, изучение условий протекания химических реакций и совершающихся при этом физических явлений. Ныне это разносторонне разветвленная наука, тесно связывающая физику и химию.

В первой половине XX в. возникает пограничная между химией и новыми разделами физики (квантовая механика, электронная теория атомов и молекул) наука, которую стали позднее называть химической физикой. Она широко применила теоретические и экспериментальные методы новейшей физики (квантовой механики, физики твердого тела и др.) к исследованию строения химических соединений и особенно механизма реакций. Химическая физика изучает взаимосвязь и взаимопереход химической и субатомной форм движения материи.

Внутри современной физической химии, ставшей уже относительно самостоятельной ветвью химии, обладающей своими методами исследования, образовались и продолжают образовываться крупные разделы, характери-

зующие ее существо и основные направления развития. Так, еще в конце XIX в. были выработаны новые методы исследования, открыты новые закономерности и важнейшие принципы химических систем, на основе которых в XX в. возникла химическая термодинамика (теория термодинамических потенциалов — Дж. Гиббс, термодинамическая теория химических равновесий — Я. Г. Вант-Гофф, принцип А. Л. Ле Шателье, тепловая теорема В. Нернста и т. д.).

В XIX в. началась также разработка учения о скоростях химических реакций (открытие закона действия масс — К. М. Гульдберг и П. Вааге, исследование кинетики химических реакций в растворах — Н. А. Меншуткин). Для превращения химической кинетики в самостоятельную область физической химии чрезвычайно важное значение имели работы лауреатов Нобелевской премии советского химика Н. Н. Семенова и английского ученого С. Н. Хиншелвуда, посвященные исследованию механизма реакций, и особенно развитие Н. Н. Семеновым цепной теории химических процессов.

Появление в физической химии новой и чрезвычайно перспективной области — строения вещества — связано с крупнейшими открытиями в физике, вызвавшими новейшую революцию в естествознании на рубеже нашего века. В XX в. эта новая область физической химии получила весьма быстрое развитие. Причиной этого были большие достижения физики в познании строения атома, обусловленные в свою очередь потребностями практики. Углубление в строение атома имело большое значение и для химии в целом, для решения таких ее важных проблем, как выяснение природы химической связи, внутренней структуры молекул, образования их из атомов.

Внутри физической химии к настоящему времени выделились и вполне сложились в качестве самостоятельных разделов, обладающих своими особыми методами и объектами исследования с присущими им особыми закономерностями: электрохимия, учение о растворах, фотохимия, кристаллохимия, физико-химический анализ, становление которого в качестве особого раздела физической химии тесно связано с исследованием Н. С. Курнаковым многокомпонентных систем, в частности сплавов. Приобретает все большее и большее практическое значение учение о катализе. Работы французских хими-

ков П. Сабатье и Ж. Сандерана в области гидрогенизационного катализа, а также советских ученых Н. Д. Зелинского, А. А. Баландина и других подтвердили значение учения о катализе, как важной и самостоятельной области физической химии.

В начале XX в. выделилась также в самостоятельную науку выросшая в недрах физической химии коллоидная химия. Фундамент этой науки был заложен английским химиком Т. Грэмом (1861), введшим понятие коллоида. В 1868 г. было открыто явление Тиндаля, а в 1903 г. сконструирован ультрамикроскоп, которые сыграли большую роль в изучении коллоидных систем. Основные закономерности последних были установлены в первом десятилетии XX в. Важное значение в становлении коллоидной химии как науки имели труды советского химика Н. П. Пескова. Весьма плодотворно в этом направлении работают ныне советские ученые П. А. Ребиндер, В. А. Каргин, А. В. Думанский, Е. М. Александрова-Прейс и другие. В последние двадцать лет в связи с интенсивной разработкой проблем ядерной энергии возникла и получила большое развитие новейшая отрасль физической химии — химия высоких энергий, радиационная химия. Предметом ее изучения являются реакции, протекающие под действием ионизирующего излучения. В этих условиях образуются ионы — возбуждающие молекулы, осколки молекул — свободные радикалы, обладающие большим запасом энергии и легко вступающие во взаимодействие. Это позволяет проводить разнообразные химические реакции, в том числе и такие, которые обычными химическими методами осуществить не удается. Радиационная химия изучает также инициирование цепных химических реакций, механизм реакций полимеризации при прохождении потоков заряженных частиц. Под влиянием достижений ядерной физики в физической химии получает развитие другая новейшая ее отрасль — химия изотопов.

Как видим, физическая химия не изучает какой-либо особой формы движения. Она исследует связи между химической и уже известными световой, тепловой, электрической, ядерной и другими формами движения, изучаемыми физикой. Именно на этом, а также на особенностях применяемых методов исследования и теоретических воз-

зрений основано деление физической химии на указанные разделы.

Физическая химия рассматривается сейчас как наиболее широкий общетеоретический фундамент всей химической науки. Многие ее учения и теории, такие, например, как электронные представления о строении химических соединений, имеют большое значение для развития неорганической и особенно органической химии.

В настоящее время физическая химия развивается всесторонне и глубоко и причем весьма быстрыми темпами, чему в немалой степени способствует бурное развитие физики. В центре внимания физико-химиков стоят проблемы, решение которых неизбежно приведет к дальнейшему развитию и возникновению новых перспективных отраслей. Это, например, физико-химия полупроводников, кинетика каталитических реакций, синтез многоатомных продуктов и особенно мономеров, вопросы связи между условиями протекания полимеризации и свойствами полимерных продуктов; проблемы структуры молекулы, подбора катализаторов, биокатализ и т. д.

С возникновением физической химии изучение вещества стало осуществляться не только традиционными химическими методами исследования, не только с точки зрения его состава и свойств, но и со стороны структуры, термодинамики и кинетики химического процесса, а также связи и зависимости последнего от воздействия явлений, присущих другим формам движения (световое и радиационное облучение, электрическое и тепловое воздействие и т. д.). Подобное углубление в познание химических веществ и процессов их превращений, связанное с открытием новых явлений и специфических закономерностей, ими управляющих, с формированием новых методов исследования, явилось толчком к дальнейшей внутренней, более глубокой дифференциации самой физической химии. Именно этим обусловлено выделение внутри нее таких относительно самостоятельных разделов, как строение вещества, коллоидная химия, химия изотопов, радиационная химия, химическая термодинамика, химическая кинетика и др.

Этот факт свидетельствует также и о непрерывном все более глубоко идущем по различным направлениям процессе интеграции химии и физики. В ходе развития химической науки, в процессе непрерывного возникнове-

ния связей ее с другими науками раскрываются необходимые, глубинные отношения и взаимопереходы между изучаемыми этими науками формами движения материи. В этом находит одно из конкретных своих выражений фундаментальный принцип научной философии, утверждение о единстве мира, о взаимной связи и взаимной обусловленности всех его частей и явлений.

Химия и биология

Долгое время эти две науки шли каждая своим обособленным путем. Идеалистические учения о сущности живого и неживого способствовали укреплению представления о непроходимой грани между ними. Положения научной философии о единстве мира, взаимосвязи различных форм движения раскрыли наличие объективной связи между науками, утвердили в противоположность витализму принципиально иной характер отношений, в частности между химией и биологией.

Три открытия натолкнули на идею, что законы физики и химии, действующие в неорганическом мире, распространяются и на живые структуры: установление А. Лавуазье и П. Лапласом того факта, что закон сохранения энергии действует в организмах животных; знаменитый синтез Ф. Вёлера (мочевины — 1828) и приготовление Э. Бухнером (1897) дрожжевого экстракта, способного ферментировать (сбраживать) сахар, несмотря на отсутствие живых клеток. Именно этот процесс виталисты связывали с жизнедеятельностью особых микроорганизмов.

Развитие науки, рост экспериментальных возможностей и совершенствование методов исследования, приведшие к раскрытию структуры атома и к детальному познанию строения и состава клетки, открыли перед химиками и биологами и практические возможности совместной работы над химическими проблемами учения о клетке. Ибо только тогда, когда были получены точные сведения о внутреннем строении атомов, а также данные о природе и химическом составе веществ клетки, встал вопрос о характере химических процессов в живых тканях, об обусловленности биологических функций химизмом.

Многие известные недостатки в развитии биологической науки в XIX и начале XX в. были обусловлены именно отсутствием надлежащей связи между химией и биологией. «Когда химик в своем подходе к биохимическим проблемам, — пишет профессор биохимии Лондонского

университета Дж. Чейн, — пренебрегает биологическим аспектом, то работа обычно остается тусклой и общая значимость ее ограничена; когда биолог в своих наблюдениях пренебрегает химическим аспектом, то работа так и остается описательной и приводит в тупик»[1]. Многие крупные биохимические открытия, по мнению Чейна, совершенные в результате биологического наблюдения, получили соответствующую значимость лишь после раскрытия, объяснения их сущности со стороны химизма. Известны выразительные примеры, когда из-за недостаточного сотрудничества химиков и биологов некоторые выдающиеся открытия не были своевременно оценены и использованы, что на ряд лет задержало прогресс соответствующих отраслей науки.

Показательна в этом отношении история с пенициллином. Еще в 1929 г. А. Флеминг сообщил о его существовании. Однако из-за недостаточного контакта с химиками пенициллин почти десять лет не был использован. Лишь в результате повторного, в том числе и химического исследования этого вещества Дж. Чейном и Х. Флореем в 1940 г. были установлены его исключительные противобактерийные свойства. Как не вспомнить здесь вещие слова М. В. Ломоносова, что «медик без довольного познания химии совершенен быть не может».

Вопрос о необходимости теснейшей взаимосвязи химии и биологии выходит далеко за рамки многих, хотя и очень важных, открытий. Эта взаимосвязь жизненно необходима для решения основных фундаментальных проблем как биологии, так и химии. «Я думаю, — говорил академик Н. Н. Семенов, — в том-то в первую очередь и заключается полезность химии для биологии, что она может и должна вторгаться именно в такие биологические вопросы, как обмен веществ и механизм наследственности»[2].

Что же представляет собой обмен веществ с чисто химической точки зрения? Академик А. И. Опарин, развивая свою гипотезу о происхождении жизни, считает, что «обмен веществ является совокупностью большого числа сравнительно простых и однообразных химических

---

[1] J. Chain. Landmarks and perspectives of biochemical research. Lnd., p. 197—198.

[2] «Вопросы философии», 1959, № 10, стр. 95.

реакций. Эти реакции в живом организме сочетаются между собой во времени, протекают не случайно, а в строгой взаимопоследовательности, в результате чего образуются более или менее длинные цепи, отдельными звеньями которых являются индивидуальные реакции, сменяющие друг друга в определенном порядке. Причем этот порядок закономерно направлен к постоянному самосохранению и самовоспроизведению всей живой системы в целом в данных условиях окружающей среды» [1].

Следовательно, в основе жизни такого определяющего ее процесса, как обмен, лежат химические реакции. Специфические свойства живого: рост, размножение, подвижность, возбудимость, способность реагировать на изменения внешней среды, как это показали многочисленные исследования биологов, физиологов, химиков, связаны с определенными, весьма сложными комплексами химических превращений, строго координированных во времени и протекающих закономерно.

Энгельс, исходя из основного закона жизни — обмена веществ, вывел все биологические функции. «Из обмена веществ посредством питания и выделения, — обмена, составляющего существенную функцию белка, — и из свойственной белку пластичности вытекают все прочие простейшие факторы жизни: раздражимость, которая заключена уже во взаимодействии между белком и его пищей; сокращаемость, обнаруживающаяся уже на очень низкой ступени при поглощении пищи; способность к росту, которая на самой низшей ступени включает размножение путем деления; внутреннее движение, без которого невозможно ни поглощение, ни ассимилирование пищи» [2]. Уже тогда Энгельс отмечал, что в исследовании специфических особенностей органической жизни, иначе говоря, обмена веществ, существенная роль принадлежит химии, которая в этом отношении «продвинулась достаточно далеко вперед, чтобы гарантировать нам, что *она одна* объяснит нам диалектический переход к организму» [3].

Действительно, химии среди наук, занимающихся изучением живого, принадлежит важнейшая роль. Многие биологические функции были раскрыты как следствие

---

[1] См.: «Вопросы философии», 1958, № 11, стр. 53.
[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 84.
[3] Там же, стр. 564.

определенных химических процессов, особого взаимодействия химических веществ. Была выявлена решающая роль хлорофилла как химической основы фотосинтеза, гемоглобина как основы процесса дыхания, установлена химическая природа передачи нервного возбуждения. Оказалось, что перенесение нервного импульса от одной нервной клетки к другой происходит с помощью молекул химического вещества — ацетилхолина. Чрезвычайно важным моментом в раскрытии химических основ жизненных процессов явилась расшифровка молекулярных основ биологического движения. Оно оказалось результатом взаимодействия сократительного белка — миозина — с молекулами аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Миозин, этот своеобразный энергетический аккумулятор, обладая одновременно ферментативными и сократительными свойствами, превращает химическую энергию в механическую работу.

При ведущей роли химиков установлено, что нуклеиновые кислоты и белки есть полимеры, длинные цепные молекулы которых состоят из сотен и тысяч маленьких звеньев; определена структура нуклеиновых кислот, те шесть компонентов, из которых эти кислоты строятся (четыре азотистых основания: аденин — А, гуанин — Г, цитозин — Ц, тимин — Т и две группы, «склеивающие» остов полимера, — сахарная и фосфатная); объяснена причина определенного порядка соединений этих групп азотистых оснований (аденина с тимином, гуанина с цитозином) возникновением особого типа химических связей — водородных; осуществлен полный синтез молекулы белка первостепенной важности — инсулина.

Но дело не только в том вкладе, который внесла и вносит химия в разгадку тайн живого. Главное заключается в том, что объективно в самой основе биологических процессов, функций живого лежат химические механизмы. Касается ли это такого важнейшего момента, как передача биологической информации, или воспроизведение живого организма посредством матричного синтеза, или, наконец, деятельность белков — ферментов, воздействующих на множество протекающих в организмах жизненно важных функций и процессов, — все это оказывается возможным изложить на химическом языке, описать в формах молекулярных взаимодействий, т. е. в виде конкретных химических процессов.

Однако было бы неправильным абсолютизировать роль химии. В течение длительного времени не могло быть и речи о глубоком изучении функции клетки из-за отсутствия надлежащей измерительной техники. Это особенно становится ясным, если принять во внимание, что как раз жизненно важные биохимические изменения в клетке происходят на молекулярном уровне и невидимы в микроскоп. Успешному, систематическому изучению коренных проблем живого вещества закономерно предшествовал расцвет физической науки, открытие строения атома, электронного микроскопа, рентгеноструктурного исследования, создание электронно-вычислительной техники. Лишь после этого возникла реальная возможность изучения тонких механизмов живого вещества.

В результате сотрудничества точных наук с биологией возникла молекулярная биология. Еще несколько десятков лет назад такого термина вообще не существовало. Изучение биологических явлений, так же как химических и физических, стало идти на молекулярном уровне. Это был факт исключительной важности. Он свидетельствовал о единой структурной основе как явлений неорганического мира, так и живой природы. В плане мировоззренческом это означало новое естественнонаучное подтверждение диалектико-материалистического учения о материальном единстве мира, крупный шаг в создании его единой новейшей физической картины.

Однако все это совсем не означает, что условия осуществления и механизмы химических и физических процессов, протекающих в неорганической природе и в живой клетке на молекулярном уровне, одни и те же. Химизм биологических организмов по сравнению с неживыми системами имеет свою специфику. Аппарат живой клетки несравнимо совершеннее неживой системы, его возможности синтезировать необходимые биологические вещества превосходят в огромной степени средства, находящиеся ныне в распоряжении химика-синтетика. Известно, что в ходе осуществления важнейшего достижения биохимии — химического синтеза инсулина — гормона, управляющего углеводным обменом организма, пришлось осуществить 228 этапов, затратить десятки тысяч человеко-часов. В живой же клетке, как подсчитано, синтез молекулы белка осуществляется за две-три секунды. Нельзя не согласиться с высказыванием академика

Н. Н. Семенова о том, что «живая материя имеет некоторые дополнительные новые физико-химические свойства, не встречающиеся пока в том комплексе видов материи, которые нам знакомы в неживой природе. Я не думаю, что живое является просто сложной комбинацией тривиальных физико-химических процессов, хорошо известных нам из физики и химии. Это было бы грубо механической точкой зрения.

С другой стороны, я не сомневаюсь, что эти новые физико-химические свойства живой материи могут быть изучены и поняты путем применения обычных или вновь для этого разработанных физико-химических методов и теорий»[1]. Действительно, молекулярная биология, рассматриваемая учеными как магистральный путь изучения коренных биологических проблем, уже добилась успехов эпохального значения. Она дает детальные объяснения биологических событий на основе принципов физики и химии, устанавливает связь между природой важнейших проявлений жизнедеятельности и структурой и взаимодействием молекул живого вещества.

Специфика химических процессов, протекающих в живом организме, определяется его качественными особенностями. Постоянное самообновление, рост, развитие на основе обмена веществ — вот отличительные черты живого. Но, как известно, связь с окружающей средой, взаимодействие с ней, обмен веществ имеет место и в неорганическом мире. На этом основано изменение, превращение веществ, их круговорот в природе. Этот обмен, однако, принципиально отличается от того взаимодействия с внешней средой, которое обеспечивает процесс жизни. Ф. Энгельс справедливо отметил, что «в случае неорганических тел обмен веществ разрушает их, в случае же органических тел он является необходимым условием их существования»[2].

Действительно, условием устойчивого существования химического вещества является отсутствие взаимодействия с другими веществами, известное постоянство внешних факторов. Это как бы момент относительного покоя, равновесного состояния в общем и постоянном процессе движения, изменения веществ. Условием этого покоя, вы-

---

[1] «Вопросы философии», 1959, № 10, стр. 96.

[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 616.

ражающегося в более или менее длительном во времени существовании, в неизменном состоянии химического вещества, является сохранение устойчивости внешней среды, отсутствие взаимодействия, обмена с ней. Живой же организм не может существовать без постоянного взаимодействия, обмена со средой. В процессе этого постоянного обмена организм получает из внешней среды все необходимое для своего существования, развития, самообновления, начиная с кислорода для дыхания и кончая самыми разнообразными веществами для питания. Характер изменения среды немедленно учитывается организмом. Это выражается в определенной его приспособляемости, изменчивости. Жизнь выступает как непрерывный процесс обмена веществ, представляющего собой сложнейшую цепь биохимических реакций, в результате которых в организме происходит создание опорных и защитных тканей, питательных веществ, образуется тепловая и химическая энергия.

В этом заключаются качественные особенности, новый тип взаимодействия, взаимосвязи биологического организма со средой. В связи с этим химические процессы, протекающие в живом организме, отличаются от обычных превращений веществ в неорганической природе. Они подчинены процессу обмена веществ, размножению, самообновлению. Химическая форма движения материи, содержащаяся в новой более совершенной форме движения — биологической, является подсобной, обслуживающей отправление специфических, биологических функций. Протекание химических процессов в биологических организмах обусловливает и их особенности.

Ныне выяснена причина специфичности биологических химических процессов, огромной скорости синтезов, протекающих в живом организме. Она заключается в том, что в клетке реализуется необычайно совершенный матричный принцип синтеза. Академик В. А. Энгельгардт считает, что именно принцип матричного синтеза есть явление решающего, фундаментального значения. При этом, «как нигде, выступает специфика химизма живого по сравнению с неживыми системами». Эта специфичность проявляется при сохранении всех основных химических принципов и законов. В отличие от обычных химических реакций, протекающих на основе статистического столкновения беспорядочно распределенных в простран-

стве молекул, в клетке реагируют строго упорядоченные молекулы, пространственно закрепленные на матрице. Это обусловливает строжайшую направленность реакции в качественном отношении, обеспечивает формирование длиннейшей цепи макромолекул биополимеров. При этом необычайно, в миллиарды и миллиарды раз увеличивается скорость реакции.

Во всем этом ярко выражается как специфичность, так и единство и взаимосвязь химической и биологической форм движения. Это обусловлено как наличием генетической связи между ними, так и подчинением всеобщим закономерностям движения материального мира, качественно различными формами которого они являются. Органическая химия, биохимия, биогеохимия, биофизическая химия, радиационная биология представляют убедительные доказательства объективной взаимосвязи этих двух форм движения. На основе их общности возникла теория академика А. И. Опарина о происхождении жизни на Земле. В ней исследуются условия и характер качественного перехода от неживой материи к живой, от неорганических химических структур к белку, способному к самовоспроизведению и обмену.

Единство живого и неживого с точки зрения химизма заключается прежде всего в общности их элементарного химического состава. Как вещества неживой, так и живой природы состоят из одних и тех же элементов периодической системы. Однако, если многообразие первых обусловливается разнообразным сочетанием почти всех 104-х известных ныне элементов, то вторые образованы главным образом из углерода в результате его соединения с небольшим числом таких элементов, как H, O, N, S, и некоторыми другими. Особое свойство углерода, его исключительная способность к реакциям обеспечивает образование неисчислимого количества соединений. В этом уже проявляется известное отличие, особенность биополимеров. Именно в силу общности элементарного химического состава частиц (молекул), входящих как в состав веществ неживой природы, так и живых организмов, действуют одинаковые силы. Это известные химические связи: ковалентные, ионные, водородные, межмолекулярные силы Ван-дер-Ваальса и т. д. Других каких-либо особых сил между атомами в молекулах биологических структур не существует.

Это обусловливает также известное сходство структур живого и неживого, наличие упорядоченности и повторяемости в тех и других. Кристаллические состояния, например, свойственны как неорганическим веществам, так и живой материи, спиралевидность строения характерна не только для ДНК и некоторых других полимеров, но и для многих неорганических веществ. Этим объясняется наличие общих для химических процессов в неорганической природе и в живых клетках закономерностей, таких, как термодинамические законы, законы стехиометрического соответствия, законы кинетики и т. д., хотя, как уже указывалось, существуют и различия, например в скоростях протекания реакции, в особенностях действия катализаторов.

Общность и взаимосвязь химической и биологической форм движения выражается также в возможности практического использования принципов живой природы в химической технологии. Для всей живой природы характерно наличие специфических механизмов (защитных приспособлений) для борьбы против различных внешних воздействий посторонних тел, частиц. Но в каждой группе живых организмов они находят свое частное применение; например, антибиотики для микроорганизмов, фитонциды у высших растений, явления фагоцитоза и реакция антиген-антител у животных организмов. В отдельных подразделениях эти явления уже достаточно изучены, так что могут быть применены в производстве. Всевозможные антибиотики, токсины, гормоны, вакцины, сыворотки, некоторые аминокислоты (например, глютаминовая, входящая в состав белка) ныне получаются с помощью микроорганизмов, в результате жизнедеятельности бактерий.

Получение нужных химических веществ (например, полимеров) возможно на заводах также с помощью биокатализаторов (ферментов). Являясь веществами белковой природы, биокатализаторы обладают исключительно высокой химической активностью. Под воздействием ферментов в живом организме в сотни тысяч и миллионы раз ускоряется ход химических процессов. В случае получения необходимых ферментов искусственно, синтетическим путем, в больших масштабах, возможно будет использовать их, подобно антибиотикам, в промышленных химических процессах. Это вызовет революцию в химической

технологии: исчезнет необходимость сложного и громоздкого производственного оборудования, отпадет надобность в применении огромных давлений и высоких температур, ибо реакции с участием биокатализаторов протекают при нормальных условиях. Но это пока лишь заманчивые перспективы. Для их осуществления биологии совместно с химией и другими науками предстоит решить сложнейшую задачу — овладеть искусственным синтезом самых разнообразных ферментов. На этом пути сделаны уже серьезные шаги.

В 1960 г. американский ученый А. Корнберг и японский ученый С. Очоа в искусственных условиях впервые синтезировали ДНК и РНК. Через год с помощью синтетической РНК уже синтезировали белок. Последний состоял, правда, из одной аминокислоты — фенилаланина. Это достижение было исключительно важно в экспериментальной биологии. Через синтез нуклеиновых кислот открывался путь к синтезу белков — биокатализаторов, путь к управлению наследственностью. Всей грандиозности открывающейся перспективы по управлению процессами живой природы пока еще невозможно представить.

Связь химии и биологии осуществляется не только по линии генетической связи различных форм движения, перехода от неживого к живому. Развитие химических производств зависит ныне как от достижений физики, кибернетики, электроники, так и биологии. Особенно большие возможности в этом отношении открывает бионика. Бионика изучает механизмы и принципы работы биологических систем для использования их в технических устройствах и технологии. Она добивается этого точным копированием всей биосистемы или моделированием отдельных ее функций, а также использованием в производстве как целостных организмов, так и отдельных биоблоков.

Применение биологических принципов для развития химии невозможно переоценить. Ведь в них сконцентрирован опыт приспособления живых организмов к существованию в условиях земли в течение многих миллионов веков, опыт создания наиболее совершенных механизмов и процессов. Овладение этими биологическими методами получения существующих в природе веществ является наиболее перспективной и многообещающей задачей химии сравнительно недалекого будущего.

В тесной связи физики, химии, биологии получила свое конкретное отражение внутренняя органическая обусловленность и единство материального мира. От простого к сложному идет развитие, от элементарных частиц, атомных ядер, изучаемых физикой, к атомам, молекулам и их совокупности — веществу — объекту химии, физической химии и в ряде отношений физики, к белковым телам, способным к обмену и самовоспроизведению, к биологии. «...Организм есть, несомненно, *высшее единство, связывающее в себе в одно целое механику, физику и химию,* так что эту троицу нельзя больше разделить» [1].

От низшего к высшему совершается этот переход в процессе развития материального мира. Не изолированно, а взаимообусловливая и переходя друг в друга, возникают, существуют и развиваются разнообразные виды материи.

Химия и математика

Одной из характернейших особенностей современной науки является все большая ее математизация. Это есть показатель степени развития науки, глубины и обоснованности ее законов, перехода от догадок к научному предвидению. К. Маркс подчеркивал огромную роль математики. «Наука только тогда достигает совершенства, — писал он, — когда ей удается пользоваться математикой» [2].

Еще алхимики качественно исследовали химические свойства некоторых основных классов веществ (кислот, щелочей и т. д.). Но качественный подход не позволяет полностью выяснить сущность явлений, структуры, закономерный характер связи и тем более точно предсказать течение и результаты химических процессов. Лишь применение количественного метода в химии, перевод данных эксперимента на количественный язык математических расчетов и формул поставили химию на прочную научную основу. Это позволило глубже проникнуть в существо химических превращений, отбросить бесплодные и несостоятельные теории (флогистона, теплорода и т. д.), открыть закон сохранения массы (веса) вещества, постоянства состава, кратных отношений и т. д.

О значении математики для познания химических яв-

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 566.

[2] «Воспоминания о Марксе и Энгельсе». М., 1956, стр. 66.

лений более двух веков тому назад говорил один из создателей количественного метода исследования М. В. Ломоносов: «...стремящиеся к ближайшему изучению химии должны хорошо знать и математику... Если бы те, которые все свои дни затемняют дымом и сажей и в мозгу которых царствует хаос от массы непродуманных опытов, не гнушались поучиться священным законам геометров.... то, несомненно, могли бы глубже проникнуть в тайники природы... В самом деле, если математики из соотношения немногих линий выводят очень многие истины, отчего же химики не могли бы вывести больше закономерностей из такого изобилия имеющихся опытов. Я не вижу никакой тому иной причины, кроме незнания математики»[1].

Глубокую уверенность в необходимости связи химии и математики высказывал А. М. Бутлеров, утверждавший, что наступит время, когда и явления химизма получат свою теорию и она «подчинится математическому анализу». Развитие науки блестяще подтвердило высказывание К. Маркса, мысли М. В. Ломоносова и А. М. Бутлерова.

Химическая наука является точной, и химики в исследовательской работе издавна широко используют математику. Это всевозможные количественные расчеты, основанные на законах стехиометрии. Например, вычисление процентного состава вещества, вычисление по уравнениям реакций необходимого количества исходных веществ для получения определенного количества заданного вещества, и наоборот, вычисление по формуле вещества количества продуктов, которое можно получить из определенного количества этого вещества, вывод формулы сложного вещества на основании данных его процентного или весового состава и атомных весов элементов, входящих в состав этого вещества, и т. д. Для этого было достаточно знание арифметики, умение с ее помощью вычислять процент числа и число по проценту, составлять и решать пропорции. И если еще в конце XIX в. Ф. Энгельс, говоря о применении математики, отмечал в химии простейшие уравнения первой степени, то уже через двадцать лет картина резко изменилась.

---

[1] М. В. Ломоносов. Избранные философские сочинения. М., 1940, стр. 21.

Новейшая революция в естествознании, прогресс в физике в конце XIX — начале XX в. дали дальнейший толчок и развитию математики. Создалась возможность, как отметил В. И. Ленин, математической обработки законов движения таких вновь открытых относительно простых и однородных элементов материи, как электрон. Изучение строения вещества, участия электрона в образовании химической связи, скоростей химических процессов и т. д. способствовало внедрению математических методов исследования в химию.

Широкое проникновение математики в естествознание, и в частности в химию, объясняется особенностями самой математики. Она не изучает какую-либо особую форму движения или взаимосвязи между некоторыми из них, как, например, биохимия или физическая химия. По определеню Ф. Энгельса, «чистая математика имеет своим объектом пространственные формы и количественные отношения действительного мира»[1]. Однако занимает объем и имеет количественную определенность любое материальное образование и явление, независимо от его масштабов и качественных особенностей. Следовательно, предметом изучения математики являются стороны действительности, носящие всеобщий характер.

Подчеркнув, что объекты математики «не придумываются» человеком, не являются «продуктом свободного творчества разума», а взяты из реального мира, Ф. Энгельс в то же время отметил абстрактный характер математических понятий и методов. «Но чтобы быть в состоянии исследовать эти формы и отношения в чистом виде, необходимо совершенно отделить их от их содержания, оставить это последнее в стороне как нечто безразличное; таким путем мы получаем точки, лишенные измерений, линии, лишенные толщины и ширины, разные *a* и *b*, *x* и *y*, постоянные и переменные величины...»[2].

При исследовании химических процессов неизбежно приходится встречаться с этими видами величин. Постоянные величины в ходе реакции не меняют своего численного значения. Например, давление при реакции $J_2 + H_2 \rightarrow 2HJ$ паров йода с газообразным водородом при повышенной температуре в замкнутом сосуде остается постоянным, но концентрация получаемого вещества в

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 37.
[2] Там же.

процессе химического превращения изменяется во времени, т. е. может принимать различные числовые значения. Эта величина переменная. Постоянные величины также широко применяются в химии. Так, при определении такого свойства вещества, как плотность, химик обязан следить не только за изменением плотности и концентрации, но и за температурой. Последняя во всех случаях должна оставаться постоянной. В данном примере наряду с двумя переменными величинами имеется одна постоянная. Переменные и постоянные величины — одно из основных математических понятий, с которыми химик имеет дело на каждом шагу.

Особенно распространено в химии понятие функции — главное понятие математического анализа. Оно отражает как внутренние, так и внешние связи и зависимости химических веществ и явлений. Законы естествознания, и в частности химии, как отражающие глубокие, коренные, устойчивые взаимосвязи, с точки зрения их принципиального математического характера, суть функции. По существу любой закон естествознания есть выражение определенной функциональной зависимости. Последняя постоянно встречается при рассмотрении количественных отношений. Так, периодический закон отражает количественные отношения, функциональную зависимость свойств вещества (в том числе и химических) от величины заряда ядра атомов элементов. При этом величина заряда ядра выступает как аргумент, а численные значения свойств (например, валентности, электроотрицательности, температуры плавления и т. д.) — как его функции. Существуют различные способы задания функциональной зависимости: аналитический, табличный и графический. Аналитический способ задания функции широко применяется в химии. Заключается он в том, что зависимость между переменными величинами выражается формулой или уравнением. Например, прямо пропорциональная зависимость двух величин дается формулой $y=kx$; формула $y=\frac{k}{x}\ (k \neq 0)$ связывает обратно пропорциональные величины. Достоинство этого способа состоит в том, что формула дает возможность вычислить значение функции для любого значения аргумента, исследовать поведение функции и т. п. Конечная цель химика-исследователя — попытаться выразить различные данные

наблюдения, данные опыта в виде подобных уравнений, где одно количество связано с другим (или другими), есть его (их) функция. Для представления результатов изменения двух переменных, их функциональной зависимости часто пользуются таблицей. В последней рядом с числовым значением аргумента помещается соответствующее ему числовое значение функции. Таковы таблицы логарифмов, таблицы тригонометрических функций. Те и другие составлены путем вычисления по заданной величине аргумента соответствующего значения функции.

Таблица — важное средство изображения функции. В форме таблицы очень часто выражается функциональная зависимость между величинами, установленная наблюдениями в процессе произведенных экспериментов, например, зависимость степени диссоциации вещества от его концентрации, растворимости вещества от его температуры и т. д. Таблица дает некоторые показания о закономерности явления. Исследования состава веществ, весовых количеств одного элемента, приходящихся в образуемых им соединениях на одну весовую часть другого, выраженные в таблицах, явились отражением закона кратных отношений и закона эквивалентов.

В химии также широко используется задание функциональной зависимости в виде графика в системе координат. Графическое изображение ориентирует химика в зависимости двух переменных более непосредственно, чем таблица. В общем график — это геометрическая, а значит, и наглядная картина функциональной зависимости, хотя и в несколько специфическом виде — в виде кривой. Часто по виду кривой можно судить о природе функциональной зависимости, графическим изображением которой она является. Графический способ представления функции позволяет с некоторой точностью найти значение функции для всех возможных в пределах чертежа значений аргумента и даже, опираясь на закон, выраженный кривой графика, предполагать дальнейший ход развития процесса с последующей проверкой предположения с помощью постановки соответствующего опыта.

Как строится кривая, видно из следующего примера: возьмем обратно пропорциональную зависимость $y=\frac{k}{x}$, где k — постоянная величина $\text{const}\neq 0$, x — независимая переменная (аргумент), y — функция от переменной

x. График этой функции, определенной при всех $x \neq 0$, называется равнобочной гиперболой. Если в общей формуле $y = \frac{k}{x}$ за x принять время, за y — скорость реакции, то равнобочная гипербола графически изобразит закон (функцию) зависимости скорости реакции от времени.

Примечательно, что функция $y = \frac{k}{x}$ может выражать различные физические сущности (например, как физический закон Бойля-Мариотта, связывающий обратно пропорциональной зависимостью давление и объем газа, так и скорость мономолекулярной химической реакции со временем и даже зависимость прочности полиэтилена на разрыв от температуры, так как во всех этих явлениях количественные отношения одинаковы (величина y обратно пропорциональна величине x) [см. рис. 5]. Следовательно, функции и их графические изображения, полученные в результате изучения количественных отношений сторон и процессов реального мира, безотносительно к их качественным особенностям, т. е. чисто абстрактно, могут быть применены к исследованию самых различных конкретных явлений и процессов. Графические изображения протекания процесса часто даются современными приборами и электронными машинами, контролирующими производственные процессы в лабораториях.



Рис. 5.

Чем объяснить стремление описывать химический процесс математически? Если функциональная зависимость правильно отражает основные свойства явления (процесса), т. е. является его моделью, то непосредственное изучение явления (что часто в силу тех или иных обстоятельств затруднено или даже практически невозможно) в значительной степени заменяется изучением этой модели. По существу само составление уравнения функциональной зависимости и его решение и есть построение и изучение математической модели данного химического процесса с помощью разработанного математического аппа-

рата. Таким образом, функция, представляющая собой математическую модель явления, отражает все фазы его развития, поэтому исследование функции есть познание явления. Чем лучше исследуется функция, тем глубже проникновение в сущность процесса. В этом заключается гносеологическая ценность математических понятий и методов.

Как известно, математика изучает также явления в их изменении, в их взаимной связи. Такие разделы высшей математики, как дифференциальное и интегральное исчисления, применяются главным образом при рассмотрении явлений, при которых состояния тел и их свойства изменяются. «Лишь дифференциальное исчисление дает естествознанию возможность изображать математически не только *состояния,* но и *процессы*: движение» [1].

Значительное число химических процессов связано со скоростью превращений или изменений с течением времени. Правда, часто переменной является скорость изменения какой-либо величины не относительно времени, а относительно, например, концентрации. Но так или иначе, при изучении зависимостей, описывающих различные процессы, в первую очередь встает вопрос о нахождении скорости этих процессов, определении скорости, с которой изменяется переменная величина. Это приводит к одному из важнейших понятий математики — понятию производной.

Производную от некоторой функции $y=y(t)$ по времени t можно толковать как скорость изменения y со временем t (скорость изменения, выражаемого этой функцией процесса: скорость перемещения какого-либо тела, скорость движения молекул, скорость реакции и т. д.).

В исследовании механизма реакции важно установление связи скорости химического процесса с концентрацией реагирующих веществ. Согласно формальному закону кинетики, установленному экспериментально, скорость химической реакции пропорциональна концентрации реагентов. Этот закон кинетики для необратимой мономолекулярной реакции ($A \to B$) в математической форме может быть записан так: если t — время, а c — количество вещества, возникшего в результате некоторой реакции к моменту t (т. е. его концентрация), то c есть функция

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 587.

от t, т. е. $c=f(t)$. Производная от c по t, т. е. $\frac{dc}{dt}$, есть функция, выражающая скорость, с которой протекает данная химическая реакция. Таким образом, в силу указанного выше закона кинетики имеем дифференциальное уравнение $\frac{dc}{dt}=-Kc$, описывающее изменение концентрации со временем.

Временные законы протекания бимолекулярных ($A+B=C+D$) и тримолекулярных ($A+B+C\rightarrow D+E$) реакций выразятся в виде следующих дифференциальных уравнений:

$$-\frac{dc}{dt}=K_2c_1c_2; \quad -\frac{dc}{dt}=K_3c_1c_2c_3.$$

Знак «минус» означает, что количество исходного вещества в процессе реакции убывает; K — константа, равная величине скорости реакции при концентрации исходных веществ, равных единицам.

Исходя из закона химической кинетики, можно построить математические модели необратимых химических реакций второго порядка и реакций более сложных: обратимых моно- и бимолекулярных, последовательных реакций. В последнем случае математической моделью явится система дифференциальных уравнений. В результате интегрирования указанных выше дифференциальных уравнений, при определенных начальных условиях, находят искомую функцию — соответствующие закономерности.

Тесная связь с физикой и математикой способствовала превращению химии из чисто описательной науки, только систематизирующей и классифицирующей вещества и их реакции, в объясняющую науку. Основываясь на электронных представлениях, применяя математические методы, она глубоко проникает в недра атомов и молекул. Теория квантовой механики, широко используемая в химии, способствовала рождению новой отрасли — квантовой химии. Именно ей, вооруженной точными математическими методами исследования, оказалось по силам проникнуть в сокровеннейшие механизмы межатомных и межмолекулярных взаимодействий. Лишь открытие закономерностей этих взаимодействий делает возможным целеустремленное проведение химических ре-

акций, получение новых веществ с запланированными свойствами.

Химия обязана математике решением ряда важнейших проблем. В частности, путем математического анализа волнового уравнения, полученного (с помощью уравнения Шредингера) при расчете двухэлектронной системы молекулы водорода, установили, что обменнное взаимодействие описывается β-функцией (β-интеграл). Это взаимодействие между двумя частицами (например, между двумя атомами в молекуле водорода) осуществляется в результате того, что они непрерывно обмениваются входящими в их состав другими частицами (например, электронами, т. е. электроны — волны, размазанные по всей молекуле водорода, непрерывно обмениваются местами). Познание характера обменного взаимодействия способствовало раскрытию особенности химических сил, связывающих в молекулу совершенно одинаковые электронейтральные атомы.

При математическом анализе решения волнового уравнения для двухэлектронной системы был также установлен важный дополнительный фактор, обусловливающий образование валентной химической связи. Так, молекула водорода будет образовываться лишь тогда, когда существование системы из двух химически связанных атомов водорода энергетически выгоднее, нежели в случае раздельного существования этих атомов. Оказалось, что выигрыш в энергии и образование связей имеет место лишь в результате обменного взаимодействия электронов с антипараллельными спинами.

Итак, использование уравнения Шредингера для вычисления волновой функции (ψ), описывающей поведение электрона, и применение математического аппарата при расчете молекулы водорода привели к выяснению характера обменного взаимодействия, к установлению электростатической природы химической связи, ее специфической особенности — насыщаемости.

Квантовая механика в огромной степени содействует развитию химии, успешному решению ряда ее важнейших проблем. Она помогла не только выяснить природу химических связей различных типов, их образование, способность к насыщению, но и объяснить причины периодичности валентных свойств атомов, геометрию молекул и кристаллов, природу жидких и твердых состояний и т. д.

Широкое применение аппарата теории вероятности, изучающей закономерности однородных массовых явлений, и возникшей на ее базе математической статистики позволило, в частности, на основании спектральных и других данных рассчитать такие важнейшие термодинамические свойства вещества, как S, F, H, U, G и др. Знание этих функций состояния имеет огромное значение для определения возможности и направления протекания химического процесса, характера получаемых продуктов.

Использование математического аппарата для выяснения поведения химической системы во времени позволяет предсказывать течение химического процесса, не проводя каждый раз опытов, разрабатывать новые, рациональные принципы осуществления тех или иных реакций при их использовании в промышленности и технике. Особенно широкие возможности применения методов математики в изучении строения химических веществ, химической связи и технологических процессов открылись с возникновением кибернетики, созданием электронно-счетных машин.

Применение математического анализа, дифференциального и интегрального исчислений для решения химических задач представляет собой пример того, как, исходя из конкретного (законы химической кинетики) и переходя к абстрактному (дифференциальным уравнениям), удается глубже проникнуть в существо явления. Это убедительно подтверждает правильность высказанных В. И. Лениным положений о том, что «мышление, восходя от конкретного к абстрактному, не отходит — если оно *правильное*... — *о т* истины, а подходит к ней», и что «*все* научные (правильные, серьезные, не вздорные) абстракции отражают природу глубже, ...*п о л н е е*»[1]. Математическое моделирование конкретных химических процессов, использование математических абстракций для их познания наглядно подтверждает раскрытую В. И. Лениным диалектику процесса познания. «От живого созерцания к абстрактному мышлению и *от него к практике* — таков диалектический путь познания *истины*, познания объективной реальности»[2].

---

[1] В. И. Л е н и н. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 152.
[2] Т а м ж е, стр. 152—153.

Использование математических понятий и методов в химии лишний раз подчеркивает не только специфичность (абстрактный характер) математики, но и ее универсальность. Возможность математического моделирования и исследования различных форм движения материи является, в известном смысле, также и подтверждением единства мира. «Единство природы обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений» [1].

Абстрактный характер понятий и методов математики, позволяющий применять их для изучения различных сторон действительности, точность проводимых при этом расчетов и вычислений обусловливают самое широкое применение математики во всех отраслях естественных и гуманитарных наук и техники. Однако применение математики, в частности в химии, стало возможным только на более высоком этапе развития последней, когда химия от накопления и описания эмпирического материала перешла к его систематизации, открытию закономерностей, созданию теорий. Внедрение математики в химию означает дальнейший качественный скачок в развитии химической науки.

Между естествознанием и математикой существует определенная взаимообусловленность. Если в современной науке «любому революционному достижению физики, химии, биологии и других естественных наук, — отмечает видный советский математик, академик С. Л. Соболев, — предшествует создание новых математических идей, понятий и методов, без которых оно было бы невозможным», то и «проблематика математической науки в сильной степени определяется вопросами и задачами, приходящими в нее из точного естествознания».

Математизация современной науки — чрезвычайно положительный фактор. Не случайно в Директивах XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану предусматривается опережающее развитие математики. Это выражает признание исключительно важной роли математики в сочетании с другими методами научного исследования в научном и техническом прогрессе.

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 306.

О некоторых особенностях и направлениях развития новейшей химии

Химия сегодняшнего дня резко отличается от химии сравнительно недавнего прошлого. XIX век был знаменателен открытием многих основных законов и теорий химии, выработкой очень важных понятий, например понятия валентности, созданием теории химического строения, открытием периодического закона. В XIX в. закладывался фундамент научной химии. Вместе с тем это был также этап, характеризующийся появлением классических методов синтеза.

Перед химией XX в. стоят новые актуальные задачи, выдвинутые ходом развития материального производства. Это, во-первых, воспроизведение искусственным путем того, что создает природа, а, во-вторых, синтез таких материалов, которых не знает природа (силиконы, фторопласты и т. п.). Это обстоятельство наложило характерный отпечаток на всю новейшую химическую науку.

Символом химии старого времени была реторта. В современных лабораториях ее нет. Ныне химик-экспериментатор вооружен точнейшими приборами, а химик-теоретик рассчитывает свойства новых синтезируемых веществ с помощью вычислительных машин. Ранее органическую химию иронически называли «кухней». Ныне она превращается в науку, в которую широко внедряются новейшие электронные представления, квантовая химия, математика. Ранее химик работал в одиночку. Ныне решением сложных химических проблем заняты целые коллективы, включающие математиков, физиков, биологов. Ранее химик был «универсалом». Он должен был знать обо всем понемногу. Современные химики специализируются. Сейчас уже естественно звучит «специалист в области химической кинетики» или «катализа» и даже ýже — «в области гетерогенного катализа». Тенденция к специализации, вызванная объективным процессом углубления познания и в связи с этим дифференциацией наук, — это, образно говоря, стремление знать все больше и больше о все меньшем и меньшем. Но это же требует от химика знания достижений смежных наук, их методов исследования, прочного овладения принципами научной философии.

Химия сегодняшнего дня характеризуется тем, что прежде всего значительно возросло число открытых хи-

мических элементов, применяемых в самых различных областях науки и техники, составивших базу современной мощной химической промышленности. Так, если в 1900 г. было известно 82 химических элемента и из них практически использовалось лишь 20—26 элементов, то в 1965 г. из 104 элементов используется около 100. Получение многих важных и необходимых продуктов таких, как жиры, спирты, крахмал производится теперь принципиально иным путем: во-первых, не из пищевого сырья, а во-вторых, методами не классического многостадийного синтеза, а каталитического прямого синтеза из неорганических веществ по схеме

$$CO + H_2O \rightarrow CH_3OH; \quad C_2H_2 + H_2O \rightarrow C_2H_5{-}OH.$$

Небывало расширились интервалы условий, в которых совершаются химические процессы. Для химии XIX в. были характерны реакции, осуществляемые при нормальных условиях. Ныне вновь открывается и производится множество веществ и аллотропных модификаций элементов при режиме реакций до нескольких тысяч атмосфер давления и чрезвычайно высоких температурах. При высоких температурах меняются электронные конфигурации молекул веществ и соответственно изменяются их свойства. Например, неметаллы приобретают свойства металлов, растворы смешиваются во всех отношениях, гелий при температурном режиме около 10 000° существует в молекулярном состоянии. При высоких температурах нет столь привычной для химиков прошлого водной химии, все процессы совершаются в газовой фазе, сами реакции протекают бурно. Некоторые реакции, наоборот, хорошо происходят при низких температурах, например реакции радикальной полимеризации.

Отличительной чертой новейшей химии является небывалое совершенство экспериментальной методики. Необычайно повысилась точность измерений. Ныне химик имеет возможность оперировать с весовыми величинами до одной десятимиллионной доли грамма. Иногда в руки химика попадает всего лишь несколько десятков атомов нового элемента, причем очень быстро распадающихся, и он тем не менее успевает проводить с ними ряд необходимых исследований. В связи с этим успешно решается важнейшая проблема получения веществ сверхвысокой

чистоты, обнаруживающих совершенно новые свойства.

Расширение интервалов условий, применение различных катализаторов, разнообразных физических и химических воздействий в ходе реакции, усовершенствование методики экспериментального исследования, глубокое проникновение в механизм реакций, широкое применение методов других наук, в частности математических, позволяет ныне успешно реализовать идею, издавна владеющую химиками, — целеустремленно проводить превращения веществ. В более далекой перспективе развития химии намечается переход от воспроизведения искусственным путем того, что дано природой, к созданию материалов, более ценных и лучших, чем естественные. Так, в природе нет ни одного соединения углерода со фтором, но их необходимо создать, ибо они чрезвычайно ценны: не горят, не гниют и обладают рядом ценнейших свойств. Этот этап химиками ныне успешно осваивается. Получены многие фторорганические соединения, нашедшие широкое применение.

Наибольший прогресс наблюдается в органическом синтезе, создании для специальных целей молекул по заранее заданной мерке. Здесь идет интенсивное изучение процессов, которые приводят к получению новых веществ с ценными свойствами. Разработан целый ряд оригинальных методов синтеза, способов применения различных инициаторов и катализаторов реакции. Применение различных, в том числе физических, методов исследования позволило детально изучить зависимость химических, механических, электрических и других свойств органических соединений и полимеров от их строения. Это является основой целенаправленных синтезов.

Крупнейшим достижением органического синтеза XX в. является получение антибиотиков — таких соединений, как пенициллин, стрептомицин, тетрациклин. Осуществлен синтез веществ, играющих важную роль в биологии организмов — стероидов и, в частности, холестерина, являющегося составной частью животных и растительных организмов. Лишь в недалеком прошлом вершиной органического синтеза считалось получение хлорофилла — зеленого пигмента растений. Биологическое значение хлорофилла огромно. Он участвует в фотосинтезе, одном из самых важных процессов на земле, обусловли-

вающих жизнь растений. Вершиной органического синтеза сегодняшнего дня является синтез белков: получен инсулин, близки к завершению работы по получению более сложных белков.

Ныне внимание химиков направляется на развитие исследований по изысканию веществ, обладающих физиологической активностью, и установлению их действия на организм, на химические и физико-химические процессы в организме, на выявление новых химических источников тока, отыскание способов прямого преобразования химической энергии в электрическую. Во всех этих направлениях сделаны первые успешные шаги. Перед современной химией стоят такие грандиозные задачи, как синтез белка и искусственной пищи, получение редких элементов в чистом виде, наконец, полное решение проблемы управления химическими реакциями.

Органическая химия является авангардом химической науки, а химия высокомолекулярных соединений — ее аванпостом. Причем ведущей стороной в новейшей химии является не анализ, как это было в добутлеровский период и фактически на протяжении почти всего XIX в., а синтез. Именно развитие и достижения последнего являются чрезвычайно важными как в теоретическом и познавательном плане, так и для повседневной жизни современного общества.

Развитие химии высокомолекулярных синтетических соединений еще ярче раскрыло один из всеобщих законов развития материи — зависимости качественных изменений от количественных. Молекулы таких широко известных веществ, как полиэтилен, полистирол и изопреновый и бутадиеновый каучуки, состоят из одних и тех же элементов — углерода и водорода. Они отличаются между собой лишь количеством этих элементов и порядком их соединения. Из водорода, углерода и кислорода, также соединенных в различном количественном отношении и порядке, состоят лавсан и фенол-формальдегидные пластмассы. Следовательно, соединения одних и тех же элементов в различных количественных пропорциях дают качественно различные вещества. Почти неограниченная возможность самых различных количественных комбинаций открывает беспредельные перспективы для создания новых веществ и их разнообразных форм.

Было бы, однако, неправильным полагать, что в других разделах химии, в частности в неорганической, нет новых больших открытий и достижений. Развитие атомной промышленности, переход к реактивным двигателям в авиации, потребности ракетной техники вызвали повышенный интерес к синтезу химически стойких материалов, хладагентов, керамических и металлокерамических частей, способных сохранять высокую прочность и другие физико-химические качества при высоких температурах. Это привлекло внимание химиков-неоргаников к исследованию огнеупоров, синтезу новых тугоплавких веществ. Широкое изучение таких видов высокоэнергетического топлива, как гидразин, ряда соединений бора и его производных, также привело в последнее время к быстрому росту новых, весьма перспективных ветвей неорганической химии: кремнийорганической, фторорганической и борорганической химии. Бурный рост радиотехники и радиоэлектроники способствовал развитию химии полупроводников. Причем современная электроника требует создания полупроводниковых материалов с такими свойствами, которыми не обладают классические полупроводниковые элементы, такие, как германий, кремний, селен.

Вызванные к жизни потребностями производства, эти новые отрасли неорганической химии в силу диалектики отношений науки и производства, с одной стороны, оказали на последнее сильнейшее обратное воздействие. Благодаря чему стали возможными дальнейшие выдающиеся достижения в развитии ядерной энергетики, ракетостроения и полупроводниковой техники. Но, с другой стороны, эти достижения поставили под сомнение ряд устоявшихся в классической химии понятий. Так, например, недавно академик Н. Н. Семенов указал на некоторые направления развития неорганической химии, где понятие валентности стало весьма неопределенным. Но «именно здесь многообразие необычных валентных связей позволяет надеяться на получение веществ с совершенно новыми и очень ценными в практике свойствами»[1]. Интересным примером новых, до последнего времени неизвестных типов связей в неорганических соеди-

---

[1] Н. Н. Семенов. Задачи советской химической науки. Сб. «Новое в химии». М., 1964, стр. 15.

нениях могут служить связи в довольно прочных образованиях инертных газов, например XeF_4 и KrF_2, или в металлоорганических соединениях переходных металлов (находящихся в середине больших периодов менделеевской таблицы: Fe, Co, Ni, Cr и др.). Их молекулы обладают «сендвичевым» строением — атом металла «зажат» между двумя органическими молекулами.

Первым среди таких соединений был открытый в 1951 г. ферроцен — соединение железа с двумя циклопентадиенильными остатками. Химия этого соединения в известной степени сходна с химией ароматических соединений типа бензолов. Полученные производные ферроцена были широко использованы для дальнейших синтезов. Благодаря высокой активности связей углерод — металл в этих соединениях ферроценильный остаток можно легко «передавать» другим атомам и составлять самые разнообразные комбинации с участием остатков ферроцена. В последние годы получены циклопентадиенильные и бензольные производные титана, циркония, ванадия, урана, кобальта, никеля. На их основе получены первые красители и лекарственные препараты, а также «сендвичевые» регуляторы горения, неядовитые (в отличие от тетраэтилсвинца) антидетонаторы моторного топлива. «Еще трудно предсказать в полном объеме практическое значение развития химии «сендвичевых» металлоорганических соединений. Однако уже теперь ясно, что эти вещества весьма перспективны. В частности, можно утверждать, что соединения такого типа играют важную роль во многих многотоннажных промышленных каталитических процессах тяжелого органического синтеза»[1].

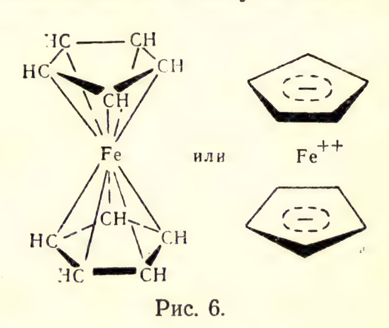


Рис. 6.

Изучение строения соединений типа ферроцена, пишет далее О. А. Реутов, приковало «внимание химиков

---

[1] О. А. Реутов. Новое в химии. «Коммунист», 1965, № 10, стр. 81.

к понятию валентности, которым они успешно оперировали в течение целого столетия. Классическое определение валентности оказалось неприменимым к металлам, входящим в состав молекул «сендвичевых» соединений. В связи с этим в настоящее время возникла необходимость пересмотреть понятие валентности»[1]. В результате экспериментальных достижений химии инертных газов, открытия «сендвичевых» металлоорганических соединений и других новых явлений перед химиками, таким образом, вновь встала проблема валентности, теории химической связи. Это один из наглядных примеров диалектического характера развития знаний. Когда новые факты, данные опыта не согласуются с установившимися представлениями, наука решительно ломает их и поднимается на более высокую ступень. Постоянное возникновение и разрешение этого несоответствия обеспечивает движение вперед, обусловливает создание новых понятий и теорий, точнее, шире и глубже отражающих материальный мир. Положительное содержание старых понятий и теорий при этом не отбрасывается совсем, а включается в новые, являясь их частным случаем.

Новейшая неорганическая химия широко использует опыт органической химии, например, в области создания новых и исследования уже имеющихся полимеров. В этом отношении возможности неорганической химии также весьма широки, ибо неорганическая химия при создании неорганических полимеров опирается не на один химический элемент, хотя бы даже и такой специфический, как углерод, а на многие элементы периодической системы.

Видному советскому химику К. А. Андрианову и его сотрудникам удалось синтезировать полимеры с неорганическими главными цепями молекул, обрамленными органическими группами. Это, в частности, кремнийорганические полимеры — полисилоксаны (полиорганосилоксаны)

$$\cdots-O-\underset{\displaystyle R}{\overset{\displaystyle R}{\underset{|}{\overset{|}{Si}}}}-O-\underset{\displaystyle R}{\overset{\displaystyle R}{\underset{|}{\overset{|}{Si}}}}-O-\underset{\displaystyle R}{\overset{\displaystyle R}{\underset{|}{\overset{|}{Si}}}}-\cdots$$

---

[1] О. А. Реутов. Новое в химии. «Коммунист», 1965, № 10, стр. 81.

(R — органический радикал алкил или арил). Эти вещества по химическому составу и свойствам занимают промежуточное положение между органическими и неорганическими полимерами. Неорганические цепи молекул этих полимеров сближают их с неорганическими соединениями, а обрамляющие группы, содержащие углерод, связывают их с органическими высокомолекулярными соединениями.

Получение кремнийорганических соединений с различными металлами в цепи, обрамленной органическими радикалами и элементоорганическими группами, создает большие перспективы. Перед химией открываются возможности, применяя этот принцип построения полимеров, создавать «органические минералы»[1] — вещества, в какой-то степени совмещающие свойства природных минералов и органических соединений. Так, в ситаллах, благодаря управляемой объемной кристаллизации стекла — неорганического полимера, образуется такая структура, которая обусловливает исключительную прочность и жаростойкость. Удивительными свойствами, например, обладает сополимер карбидов гафния и титана, плавящийся лишь при температуре 4215° С. При этой температуре даже самый тугоплавкий металл вольфрам течет, как вода.

Неорганические полимеры обладают не только термостойкостью и твердостью, но и, подобно органическим, могут быть эластичными. Например, стеклянное волокно не горит, не гниет, не впитывает влагу, не боится действия большинства кислот и щелочей; или синтетический асбест, отличающийся от природного большим постоянством свойств и химического состава, а также более высокой термостойкостью; или полученный полимер сульфида кремния, имеющий асбестоподобную структуру. Ныне твердо установлено, что неорганическая природа многих больших молекул не исключает эластичности и других типичных свойств органических полимеров. Таким образом, на границе органической и неорганической химии оформилась и успешно развивается новая ветвь — неорганические полимеры. Все новые и новые открытия совершаются в этой области. Неудержимо растет число

---

[1] См.: К. А. Андрианов. Полимеры с неорганическими главными цепями молекул. М., 1962, стр. 13.

соединений данного класса, открываются пути их применения. Возникла реальная возможность на принципиально иной, неуглеродной основе создавать молекулы веществ не менее сложных, чем биополимеры, придавать им свойства, необходимые человеку.

Следует особо отметить, что решение главной проблемы химической науки — целенаправленный синтез веществ и материалов с заранее заданными свойствами — является весьма сложным и трудным делом, ибо «до сих пор нет количественной теории, связывающей свойства вещества с его химическим составом и физической структурой... Эмпирический путь пока преобладает в поисках» [1]. Это заставляет советских химиков, подчеркивает он далее, усилить теоретические исследования.

Современная химия не только неопровержимо подтвердила положение научной философии о неограниченной возможности познания, но конкретно раскрыла диалектику этого процесса развитием своих теорий, открытием новых законов, бесконечным углублением в сущность химических веществ и явлений.

---

[1] Н. М. Жаворонков. Развитие общей и неорганической химии. Сб. «Развитие общей, неорганической и аналитической химии в СССР». М., 1967, стр. 53.

Глава четвертая

ПРОТИВОРЕЧИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ФОРМЕ ДВИЖЕНИЯ

Диалектика, по определению Ф. Энгельса, есть «наука о наиболее общих законах движения». Продолжая эту мысль, В. И. Ленин особо подчеркнул, что диалектика есть «учение о развитии». Законы диалектики являются обобщением тех наиболее существенных связей и отношений, которые свойственны каждому конкретному предмету, явлению любой формы движения. «История природы и человеческого общества — вот откуда абстрагируются законы диалектики, — указывал Ф. Энгельс. — Они как раз не что иное, как наиболее общие законы обеих этих фаз исторического развития, а также самого мышления» [1].

Но в зависимости от конкретных условий законы и категории диалектики выступают в том или ином определенном виде. Так, в физических, химической, биологической и социальной формах движения проявление закона единства и борьбы противоположностей различно. Отношения между качеством и количеством, формой и содержанием, возможностью и действительностью, причиной и следствием носят всеобщий характер, но конкретное содержание этих категорий, конкретный характер их взаимодействия всегда специфичны.

Следовательно, знания законов и категорий диалектики, выражающих общие принципы развития, еще недостаточно. Понять с их помощью сущность явлений, тенденции развития, его конечный результат можно лишь в том случае, если учитываются конкретная обстановка,

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 384.

особенности явлений, специфические закономерности их развития. Только тогда принципы и категории диалектики служат острейшим оружием познания, методом научного исследования, ориентиром для практики. Именно поэтому В. И. Ленин, называя диалектику «душой марксизма», одновременно указывал, что суть, живая душа марксизма в конкретном анализе конкретной ситуации.

О методологическом значении закона единства и борьбы противоположностей

Сутью, ядром диалектики назвал В. И. Ленин закон единства и борьбы противоположностей. Огромное методологическое значение этого закона заключается в том, что он не только раскрывает внутреннее содержание и источник процесса развития, но и пронизывает остальные законы и категории, позволяет правильно понять их сущность. Действие закона единства и борьбы противоположностей становится ясным в свете учения о противоречии.

Марксизм, опираясь на данные естествознания и истории, установил, что всем без исключения телам и явлениям материального мира, а также процессам мышления присущи противоречия. Следовательно, противоречия носят всеобщий характер. Любое тело, явление внутренне «раздвоено» на взаимообусловливающие и одновременно взаимоисключающие по своим свойствам и тенденциям стороны. Взаимодействие между подобного рода сторонами и есть противоречие.

Таким образом, основой учения о противоречии является «признание (открытие) противоречивых, *взаимоисключающих,* противоположных тенденций во *всех* явлениях и процессах природы (и духа и общества *в том числе)*»[1]. Из этого положения видно, что противоположность — это одна из сторон противоречия. Она немыслима без существования другой стороны, тенденции. Взаимодействие между противоположностями (противоречие) и обусловливает развитие тел и явлений. Закон единства и борьбы противоположностей раскрывает это взаимодействие, диалектику противоположностей. Он же определяет и степень развития противоречия.

Взаимодействие противоположностей носит весьма сложный характер, зависящий как от природы материального объекта, так и от конкретных условий. В общем

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 317.

можно сказать, что вначале взаимоисключающие тенденции выступают как различия, в процессе дальнейшего развития идет нарастание противоречия, которое в конечном счете достигает такой остроты, что противоположности или переходят одна в другую или уничтожают друг друга. Противоречие, таким образом, «разрешается», совершается качественный скачок. Новый объект или явление с момента возникновения содержит в себе и новое противоречие, противоположные стороны которого находятся в новом взаимодействии. Первоначальный этап развития противоречия характеризуется относительным равновесием. Это именно и есть тот момент, который В. И. Ленин отмечал как «единство (совпадение, тождество, равнодействие) противоположностей»[1]. Однако он указывал далее, что такое единство, совпадение противоположностей (по величине), тождество (как равенство), равнодействие (по силе воздействия друг на друга) «условно, временно, преходяще, релятивно. Борьба взаимоисключающих противоположностей абсолютна, как абсолютно развитие, движение»[2].

Развитие, таким образом, выступает как непрерывная цепь сменяющих друг друга качественно различных состояний. Оно совершается в процессе преодоления противоречий, каждое из которых характеризуется своим сочетанием и взаимодействием противоположностей, способом их взаимопроникновения и разрешения. Особенностью диалектических противоречий является то, что они «на всех этапах своего возникновения, развертывания и разрешения являются движущей силой всякого развития. Это главный признак диалектического противоречия, если иметь в виду его роль, его функцию в процессе развития»[3].

В известной статье «К вопросу о диалектике» В. И. Ленин раскрывает теоретико-познавательное значение закона единства и борьбы противоположностей. «Условие познания всех процессов мира в их *„самодвижении“*, в их спонтанейном развитии... есть познание их как единства противоположностей»[4]. Именно признание

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 317.

[2] Там же.

[3] С. П. Дудель, Г. М. Штракс. Закон единства и борьбы противоположностей. М., 1967, стр. 126.

[4] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 317.

противоречий во всех телах и явлениях материального мира коренным образом отличает диалектику от метафизики. В этом плане, с точки зрения В. И. Ленина, диалектика «есть изучение противоречия *в самой сущности предметов»*[1]. Развитие современной химии наглядно подтверждает справедливость этих ленинских идей. Прогресс химической науки раскрывается как движение, внутренним источником которого является «раздвоение единого и познание противоречивых частей его». Иначе говоря, внутренние противоречия органически присущи процессу научного познания.

Проблема определения предмета химии, исследования взаимосвязи и взаимообусловленности как в генетическом, так и в «иерархическом» плане химической формы движения с другими формами (физической и биологической) есть прежде всего проблема исследования специфики их единства и различия, их противоположности. Особенность развития новейшей химии выражается в единстве противоположных устремлений, глубокой специализации, дифференциации и одновременно интеграции различных ее отраслей с другими областями естествознания. Лишь при правильном понимании и разрешении возникающих противоречий между существующей химической теорией и практикой, в частности новыми данными химического эксперимента, происходит успешное развитие химической науки.

С позиций закона единства и борьбы противоположностей только и возможно подойти к правильному решению многих важнейших химических вопросов, касающихся, например, прерывности и непрерывности в структуре химических соединений, наличия таких противоположных факторов, как кинетическая устойчивость и термодинамическая нестойкость большинства молекул органических веществ и т. д. Противоречие выступает всюду в химии в качестве внутренней закономерности развития любого вещества.

Научная философия дает химии «ключ» к познанию веществ и их превращений. Для познания сущности химического явления, для установления закономерностей его протекания необходимо найти противоречия, составляющие основу явления. Но в каждом химическом ве-

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 227.

ществе (явлении) имеется множество противоречий, что прямо связано с неисчерпаемостью материи. Для одного превращения вещества имеют определяющее значение одни противоречия, для другого — другие. Какое из них является решающим в том или ином случае, можно установить только при конкретном изучении данной химической реакции специальными методами и средствами исследования самой химии. Философия, как говорилось, дает лишь метод познания и ни в коей мере не может заменить конкретное научное исследование, эксперимент.

Следовательно, гносеологическое значение закона единства и борьбы противоположностей заключается в принципиальном указании на раздвоенность каждого явления, на наличие противоположных сторон, находящихся в определенной диалектической связи. Выяснение решающих противоположных сторон в данном, конкретном химическом явлении, характера их отношений открывает путь к овладению явлением. Действительно, после исследования количественной зависимости противоположных сторон от тех или иных внешних условий (t, p, c и т. д.) и установления, в каком интервале последних каждая из них преобладает, можно путем изменения условий вызывать качественные изменения вещества, познать его сущность, закономерности развития.

Ярким примером в этом отношении является изучение химического равновесия. Долгое время оставался необъяснимым тот факт, что ход многих химических реакций прекращался несмотря на то, что в реакционной смеси имелось еще немалое количество непрореагировавших исходных веществ. Реакция шла не до конца, хотя участвовавшие в ней вещества, как показывала начальная стадия процесса, могут вступать в реакцию друг с другом. Только тогда, когда норвежские физико-химики К. М. Гульдберг и П. Вааге подошли к объяснению этого явления со стихийно-диалектических позиций, учение о химическом равновесии стало на научную основу. Они предположили, что равновесие представляет собой не статичное явление, не покой, а одновременное протекание двух тождественных по скорости, но противоположных по направлению процессов. Тайна химического равновесия была открыта, что и позволило овладеть этим процессом.

Для успешной практической деятельности химика весьма важным является знание объективных противоречий в молекуле химического соединения. Огромное методологическое значение при этом имеют установленные научной философией принципиальные положения о специфике и взаимосвязях внутренних и внешних, основных и неосновных, главных и второстепенных противоречий, о влиянии внешних условий на их разрешение.

О характере и формах проявления внутренних противоречий в химических веществах

В разнообразных химических соединениях, в процессах превращения веществ действуют различные виды противоречий, раскрываются особенности их разрешения в зависимости от воздействия различных реагентов, влияния внешних условий. Но по отношению к химической форме движения материи неправомерно говорить о борьбе противоположностей как активном противоборстве непримиримых тенденций и сил, подобно тому как это имеет зачастую место в живой природе и особенно в обществе. Между противоположными свойствами, тенденциями, различными по своей природе составными элементами, структурными группами, образующими противоречия в химических веществах и явлениях, имеет место определенное взаимодействие, взаимовлияние.

Характер этого взаимодействия обусловливает само существование и химическую природу частицы вещества (например, молекулы) как качественно определенного единого целого. Изменение этого взаимодействия в зависимости от условий определяет характер химического превращения, его конечный результат. В процессе химической реакции происходит изменение взаимодействия. Оно выражается в разрушении единства противоположных сторон противоречий, свойственных исходным веществам, с последующим возникновением новых противоречий с новым единством и соответствующим взаимодействием их противоположных сторон, характерным для полученных новых веществ, продуктов реакции.

Наличие противоречия, единства взаимоисключающих тенденций обнаруживается уже в самом химическом элементе, например, в единстве его металлических и неметаллических, окислительных и восстановительных свойств. Известно, что металлы и неметаллы противопо-

ложны по своим физическим и химическим свойствам. Простые вещества — это обычно металлы или неметаллы. Однако большинство элементов отчетливо выражает свойства как тех, так и других, например сурьма, мышьяк, йод и др. Так, кислородные соединения мышьяка образуют кислоты, дающие с металлами соли. В этом выражаются неметаллические свойства мышьяка, но он обладает также металлическим блеском, проводит теплоту и электричество, реагирует со многими неметаллами, т. е. проявляет себя и как металл. В различных состояниях валентности многие элементы особенно наглядно раскрывают свою двойственную природу. Так, марганец двухвалентный дает катион, т. е. ведет себя как металл, а шести- и семивалентный образует анионы марганцеватистой и марганцевой кислот, т. е. выступает как неметалл. Аналогично и железо — двухвалентное дает катион, а шестивалентное — анион железной кислоты. Все это говорит о том, что металличность и неметалличность внутренне присущи и сочетаются в одном и том же элементе, веществе, но у некоторых одно из этих свойств выражено преимущественно, а у других они равносильны, и в зависимости от строения вещества, условий (среды) и действующего реагента проявляется то или иное.

Металличность и неметалличность в значительной степени определяются структурой атома, т. е. зарядом его ядра и особенностями строения электронной оболочки. Как известно, атомы состоят из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. Между ними действуют две противоположные силы: притяжение — между разноименными зарядами и отталкивание — между одноименными. Наличие и взаимодействие этих сил обеспечивает, во-первых, устойчивое существование атома, во-вторых, открывает возможность таких химических реакций, в процессе которых в зависимости от условий (t, p и химической природы другого реагента) от атома отделяется или к нему притягивается то или иное количество электронов. Факты показывают, что проявление металлических свойств в простейшем виде связано с отдачей электронов, а неметаллических — с приобретением. Поскольку атом химического элемента способен в принципе как к приему, так и к отдаче валентных электронов, то вполне понятным становится сосуществование в атоме металлических и неме-

таллических свойств. Этим же объясняется и единство окислительных и восстановительных свойств простых и сложных веществ. Окислитель — это обычно вещество, которое в ходе химической реакции принимает электроны, а восстановитель — отдает. Одно и то же вещество может быть как восстановителем, так и окислителем. Так, сера в реакциях с металлами выступает как окислитель, а в реакциях с кислородом — как восстановитель. Следовательно, эти взаимопротивоположные свойства органически, внутренне присущи природе одного и того же вещества — налицо единство и определенное взаимодействие противоположностей, т. е. противоречие.

В сложных химических соединениях, образованных из внутренне противоречивых элементов, также весьма ярко раскрывается присущая им внутренняя раздвоенность, единство и взаимодействие противоположностей. Наряду с кислотами существуют противоположные им по химической природе вещества — основания. Химические факты показывают, что между кислотными и основными свойствами имеет место сложная диалектика отношений.

Это подтверждает наличие соединений, проявляющих как кислотные, так и основные свойства в зависимости от условий (от природы вступающих с ними в реакцию веществ). К их числу относятся, например, уже упоминавшиеся ранее амфотерные соединения (гидроокиси Zn, Cr, Fe, Al и т. д.). При действии кислот на амфотерные соединения последние выступают как основания, а при действии оснований — как кислоты.

Известно большое число органических соединений со смешанными функциями, проявляющих противоположные тенденции развития в процессах превращения. Свойства подобных веществ, например аминоальдегидов и аминокетонов, в значительной мере обусловлены взаимным влиянием противоположных нуклеофильной ($—NH_2$) аминогруппы и электрофильной ($=C=O$) карбонильной группы. Этим объясняется многообразие их соединений.

Применение новейших физических методов исследования вещества, изучение строения молекул на основе квантово-механических электронных представлений привело к обогащению и развитию бутлеровского учения о химическом строении. В последнее ныне включается не только порядок, но и характер химической связи, конфи-

гурация молекулы, распределение в ней электронных плотностей. Молекула, как единое качественное и количественное целое, состоит из атомов, радикалов и функциональных групп различной природы и валентности, проявляющих разные тенденции в химических превращениях, обладающих каждая специфическими свойствами и характерной реакционной способностью. Структурным частям молекулы, расположенным в пространстве и взаимовлияющим друг на друга, органически присущи в соответствии с их химической природой определенные формы и виды связей различной полярности.

Являясь качественно новой «узловой точкой», дискретной формой вещества, молекула обладает и специфическим комплексом противоположных свойств и тенденций, — таких, например, как наличие π- и σ-связей, возможность гомолитического и гетеролитического расщепления, замещения и присоединения, кислотность и основность, способность к реакциям окисления и восстановления и т. д. Поэтому противоречия и взаимодействия, связи противоположных сторон в молекулах иные, нежели в атомах. В самом составе и строении молекулы кроются неограниченные возможности ее усложнения, содержится объективная основа множественности и специфики внутренних противоречий.

В качестве примера множественности противоречий и их отличия друг от друга рассмотрим молекулу органического соединения — аминокислоты общей формулы $NH_2—(CH_2)_n—CH_2COOH$, где n = 0,1, 2, 3. Здесь имеются две функциональные группы — носительницы противоположных свойств: NH_2 — основных и COOH — кислотных. Кроме того, атомы — C, H, O, N — обладают различной электроотрицательностью (силой притяжения электронов). Электроотрицательность элементов — очень важное понятие и величина. Она характеризует химическую связь, позволяет предвидеть ее характер при соединении элементов друг с другом и дать количественную оценку полярности связи (полярность различных связей пропорциональна разности электроотрицательностей образующих эту связь атомов).

Поскольку электроотрицательность (по Л. Полингу) H — 2,1; C — 2,5; N — 3; O — 3,5, то полярность образуемых ими связей будет: C — H = 2,5—2,1 = *0,4*; O — H = 3,5—2,1 = *1,4*; C—O = 3,5—2,5 = *1,0*; N—H = 3—2,1 =

$=0,9$. Отсюда видно, что связь O — H в гидроксильной группе более полярна, чем связь C—H, C—O или N—H в соответствующих группах аминокислоты (CH_2, NH_2, COOH), хотя в последних она также неравноценна. Так, известно (через вычисление дипольных моментов), что двойная связь C и O в карбонильной группе C=O (из коих одна σ-, а другая π-связь) поляризована больше, чем связь C—O (ординарная, σ-связь). В результате такой поляризации атом C в C=O приобретает некоторый положительный заряд, а атом O — некоторый отрицательный заряд: $\rangle \overset{+\delta}{C} = \overset{\delta-}{O}$ «Наличие этих зарядов во многом определяет химическое поведение карбонильных соединений (течение реакции присоединения, замещения и др.)»[1].

Группы с различной полярностью связей будут оказывать различное влияние на формирование общего электронного облака молекулы, на распределение в нем электронных плотностей, что будет находить свое выражение в реализации различных тенденций в процессе химических превращений в зависимости от условий.

Таким образом, группы NH_2, COOH в молекуле аминокислоты не только выступают как стороны противоречия, носители противоположных тенденций, но противоречивы сами по себе, представляют собой единство взаимодействующих, взаимовлияющих противоположностей. Так, в карбоксильной группе есть два кислорода, связанные с атомом углерода и имеющие одинаковую электроотрицательность. Но у атома кислорода, связанного двойной связью с атомом C, одна связь π, а другая σ, другой же атом кислорода связан с углеродом ординарной σ-связью. Поэтому смещение электронных облаков образуемых связей (по причине их различной полярности) будет выглядеть так:

$$-C\begin{matrix}\nearrow \ddot{O}: \\ \searrow \ddot{O}-H\end{matrix}$$ [2]

[1] А. Е. Чичибабин. Основные начала органической химии, т. I. М., 1963, стр. 121.

[2] См.: К. Д. Неницеску. Органическая химия, т. I. М., 1963, стр. 713.

Ясно видно проявление двух различных противоположных тенденций, взаимодействие которых выражает внутреннее противоречие карбоксильной группы. Это противоречие между двумя атомами кислорода разрешается при реакциях аминокислоты, характерных для карбоксильной группы. Уменьшение электронной плотности у атома кислорода, с которым связан атом Н (протон), объясняет его более легкую отдачу (например, по сравнению с Н в группе О—Н спиртов) с образованием карбоксилат-аниона COO^-. С химической стороны это выражается в усилении способности аминокислоты диссоциировать по связи О — Н, в возможности замещения водорода в гидроксильной группе карбоксила, в отсутствии реакционной способности группы С=О карбоксила (по сравнению с группой С=О альдегидов и кетонов).

Внутри аминогруппы также существует соответствующее взаимовлияние, взаимодействие (противоречие) между составляющими ее атомами. Это обусловливается, во-первых, различной электроотрицательностью атомов водорода и азота, а значит, и полярностью образуемой ими связи, во-вторых, наличием неподеленной пары электронов у атома азота, которая несет в себе две противоположные тенденции. С одной стороны, эта пара электронов может образовывать координационную (биполярную — внутримолекулярную) связь с ионом водорода гидроксильной группы, оттягивая его на себя, с другой стороны, за счет этой пары группа NH_2 может вступать в различные реакции. Этими различиями между азотом и водородом в аминогруппе объясняется разнообразие ее реакций (замещение водорода на другие группы, образование солей и окисление аминов до спиртов, сопровождающиеся изменением валентного состояния азота с +3 до +5 за счет неподеленной пары электронов).

На примере аминокислоты видно, что молекула вещества существует как «сумма и единство противоположностей», что ей органически присуща множественность противоречий, что и проявляется в многогранности химических свойств, в разнообразии химических реакций. Но из этого также следует, что внутренние противоречия в молекуле вещества неравноценны. Эта их неравноценность выступает в процессах химических превращений.

Основные, главные и второстепенные противоречия

В сложном комплексе внутренних противоречий важно выделить такие, которые затрагивают ведущие процессы, определяют коренные свойства данного предмета или явления. Это прежде всего основное противоречие. Каждая форма движения материи есть особая форма существования присущего только ей основного противоречия. Оно относится к самой сущности предметов и явлений данной формы движения, определяет специфику развития последних на протяжении всего периода их существования.

При изучении химического превращения веществ прежде всего необходимо выяснить присущее этим процессам основное противоречие, его конкретный специфический характер как внутреннего источника движения, *самодвижения*. Таковым основным противоречием химической формы движения материи, определяющим все химические процессы, является противоречие между двумя неразрывно связанными противоположными тенденциями. С одной стороны, это тенденция образовывать соединения (квантово-механические системы — свободно существующие частицы: молекулы, ионы, радикалы, комплексы, макромолекулы и т. п.) с минимумом энергии, т. е. стремление к термодинамически устойчивому при данных условиях состоянию. С другой стороны, существует противодействующая тенденция, кинетическая неподатливость, сопротивление собственных электрических полей частиц, т. е. наличие энергетических барьеров.

Внешней формой проявления этого основного противоречия в химии является диссоциация (полная или частичная) исходных веществ, например молекул на атомы и атомные группы (ионы, радикалы) с последующим образованием (ассоциация) частиц (молекул, макромолекул, комплексов и т. п.) новых веществ. Процесс этот — химическая реакция, сопровождающаяся разрушением старых и соответственно возникновением новых химических связей (полностью или частично), изменением состава и структуры, а иногда только структуры (реакции полимеризации) реагирующих веществ.

Противоречия, характерные для других форм движения, сопровожающих химическое превращение, являются неосновными. Они порождаются основными, дополняют основные, конкретизируют и углубляют их. При взаимо-

переходах форм движения основные противоречия переходят в неосновные и наоборот. Основное противоречие химической формы движения по-разному проявляет себя в разных процессах, например, деструкция и «сшивание» в химии полимеров, пептизация (образование) и коагуляция (разрушение) в коллоидной химии, адсорбция и десорбция в поверхностных явлениях и т. д.

Противоречия, определяющие существование и развитие вещества данного качества, действующие во всех процессах его превращения, являются *главными*. «*Главное* противоречие находится в органической связи с основным противоречием и обычно является той или иной его стороной, составной частью или конкретной формой его проявления. От разрешения главного противоречия зависит дальнейшее развитие материального образования, его переход на следующую стадию своего существования»[1]. Так, главное внутреннее противоречие молекулы аминокислоты заключается во взаимодействии между основным характером аминогруппы и кислотным карбоксильной группы. Это взаимодействие между функциональными группами, выражающими прямо противоположные свойства, определяет сущность аминокислот как известного класса органических соединений, их коренные свойства, их способность к реакциям. Причем степень этого взаимодействия зависит от строения молекулы аминокислоты, т. е. от состава и структуры ее: количества аминогрупп и карбоксильных групп, от расстояния их друг от друга, от длины углеродных связей и т. д.

Разрешение главного противоречия аминокислоты можно считать полным, когда прекращается взаимодействие между противоположностями (группами NH_2 и $COOH$) за счет разрушения одной из них, или частичным, когда изменяется характер этого взаимодействия. Последнее связано с разрешением других, неглавных противоречий, тех, которые внутренне присущи самим амино- и карбоксильной группам как определенным структурным образованиям.

Неглавное противоречие взаимосвязано с главным, является той или иной его стороной. Разрешение неглавного противоречия обусловливает, следовательно, изме-

---

[1] А. П. Шептулин. Диалектический материализм. М., 1965, стр. 231.

нение одной из противоположностей главного противоречия, а значит, и общего характера взаимодействия между его сторонами. Это сказывается на свойствах полученного химического вещества, характере его превращений.

Разрешение неглавных противоречий связано с получением производных. Так, к реакциям карбоксильной группы аминокислоты относятся образование:

а) солей аминокислоты при взаимодействии ее с основаниями, т. е.

$$H_3\overset{+}{N}—CH_2—CO\overset{-}{O} + \overset{+}{Na}O\overset{-}{H} \rightarrow H_2N—CH_2CO\overset{-}{O} + \overset{+}{Na} + H_2O$$

(поскольку аминокислоты в растворах существуют в виде внутриионизированных структур);

б) сложных эфиров, например, под воздействием спиртов и хлористого водорода

$$H_3\overset{+}{N}—CH_2—CO\overset{-}{O} + \xrightarrow{CH_3OH;\ HCl} \overset{-}{Cl}\,[H_3\overset{+}{N}—CH_2—COOCH_3] + H_2O;$$

в) хлорангидридов при взаимодействии с пятихлористым фосфором (функциональное производное карбоксильной группы)

$$H_2N—CH_2COOH + PCl_5 \rightarrow \overset{-}{Cl}\,[H_3\overset{+}{N}—CH_2—COCl] + POCl_3.$$

Характерными реакциями аминогруппы являются:

а) образование солей при взаимодействии с кислотами

$$H_3\overset{+}{N}—CH_2—CO\overset{-}{O} + \overset{+}{H}\overset{-}{Cl} \rightarrow H_3\overset{+}{N}—CH_2—COOH + \overset{-}{Cl},$$

б) N-ацилированных производных при обработке аминокислот хлорангидридами в щелочной среде (реакция Шаттена — Баумана)

$$C_6H_5—COCl + H_2NCH_2COOH \rightarrow C_6H_5CO—NH—CH_2COOH + HCl.$$

Во всех рассмотренных реакциях карбоксильной и аминогрупп происходит разрешение присущих им внутренних (неглавных) противоречий (замещается атом H в NH_2, OH или H в COOH). Главное противоречие аминокислоты сохраняется, ибо группы — носительницы противоположных свойств (NH_2 и COOH) — полностью не уничтожены. Но изменилось взаимодействие между ними,

поскольку претерпела известное изменение структура одной из этих противоположных групп. Это отразилось на получении производного с несколько иными свойствами, чем у аминокислоты. В отличие от последней, ее эфиры, например, не обладают уже амфотерностью, а являются веществами основного характера, ибо карбоксильная группа в них блокирована [1].

Таким образом, разрешение неглавных противоречий не вызывает коренного превращения вещества. Основное качество его сохраняется, ибо оно определяется главным противоречием. Лишь разрешение последнего, связанное с полным уничтожением одной из противоположных его сторон, тенденций, приводит к качественному скачку, коренному изменению природы вещества, его превращению. В случае аминокислот это имеет место в реакции дезаминирования (соответственно, декарбоксилирования), связанной с полной заменой аминогруппы, например гидроксилом под действием азотистой кислоты:

$$H_2NCH_2COOH + HO{-}N{=}O \rightarrow HOCH_2COOH + N_2 + H_2O.$$

В данном случае одна из противоположностей (группа NH_2) исчезает полностью — главное противоречие аминокислоты разрешается. Получается качественно новое вещество — оксикислота. Ей присуще свое главное противоречие, выражающееся во взаимодействии между основной окси(ОН)-группой и кислотной — карбоксильной, перешедшей целиком из молекулы аминокислоты в качестве противоположностей уже этого нового, главного противоречия.

Это совершается в полном соответствии с установленным экспериментально законом радикалов. На его основе развертывается диалектика главных и второстепенных противоречий как непрерывная цепь взаимопереходов, возникновения и разрешения их на разных стадиях и этапах развития веществ. Закон радикалов, получивший свое объяснение и формулировку на основании теории химического строения, гласит: «При отдельных химических реакциях в молекулах исходных веществ лишь ограниченное число связей между атомами (в простейшем

---

[1] См.: К. Д. Неницеску. Органическая химия, т. II. М., 1963, стр. 379.

случае — лишь одна связь) разрывается и заменяется связями с другими атомами; остальные же части молекулы, называемые остатками или радикалами, переходят во вновь образующиеся молекулы, сохраняя неизменными все существовавшие раньше связи между отдельными атомами»[1].

Сохраняются свойственные этим перешедшим остаткам и радикалам их внутренние взаимодействия (противоречия). Однако роль последних в общем комплексе противоречий новой молекулы изменяется, ибо нарушение какой-либо, даже одной связи в результате химической реакции (например, введение заместителя) влечет перераспределение электронных плотностей, изменение общего электронного облака образовавшейся молекулы. Это связано с изменением взаимного влияния атомов и атомных групп, зависящего от природы введенного заместителя, поляризуемости вновь возникшей связи и т. д.

Итак, главное противоречие определяется на основе состава и строения молекулы вещества. Иначе говоря, оно определяется природой составляющих молекулу атомов и атомных функциональных групп, или радикалов, порядком и типом химической связи, т. е. тем, что А. М. Бутлеров называл химическим строением. Для данного гомологического ряда и его производных свойственно одно и то же главное противоречие. Оно играет ведущую роль, выражая самые основные определяющие направления в развитии вещества, обусловливает существование всех остальных, неглавных противоречий. Последние в свою очередь углубляют, усиливают или ослабляют действие главного противоречия, способствуют его развитию и разрешению.

Поскольку главное противоречие лишь временно выдвигается на первый план, только на период существования данного вещества, то в результате его разрешения, в зависимости от конкретных условий реакции, в полученном новом веществе в качестве главного может выступить противоречие, бывшее до этого неглавным. Это значит, что в общей бесконечной цепи превращения вещества происходит непрерывное возникновение и раз-

---

[1] А. Е. Чичибабин. Основные начала органической химии, т. I, стр. 75

решение противоречий, имеет место диалектика противоречий, превращение главных противоречий в неглавные и наоборот.

Внешние противоречия и их связь с внутренними

Процессам превращения веществ свойствен еще один вид противоречий (взаимодействий), действие которых обусловливает само осуществление и направление реакций. Объективным источником их возникновения является одновременное сосуществование качественно различных химических веществ и явлений. Вступая во взаимную связь, они влияют друг на друга. Это влияние приводит к определенному изменению внутренних противоречий (взаимодействий между структурными, функциональными группами, носителями противоположных свойств и тенденций) участвующих в реакции частиц веществ. В результате неизбежно происходит изменение, превращение этих веществ. Следовательно, наряду с внутренними противоречиями, присущими каждой из реагирующих частиц (молекул), существуют противоречия и между ними. Эти противоречия — следствия взаимодействия различных качеств, противоположных по химической природе и тенденциям развития вступающих в реакцию веществ. Эти противоречия между веществами являются *внешними*.

В качестве примера возникновения, развития, разрешения внешних противоречий можно указать на химические реакции с участием двух и более веществ. В частности, такого типа:

$$2K + Cl_2 \rightarrow 2KCl$$

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$

$$2HCl + Zn \rightarrow ZnCl_2 + H_2O$$

В первом случае (реакция прямого соединения) реагируют атомы элементов ярко выраженной противоположной химической природы — металл (K) и неметалл (Cl). Во втором случае (реакция нейтрализации) реагируют также вещества — носители противоположных свойств — кислота (HCl) и основание (NaOH). В третьем случае (реакция замещения) более активный элемент (Zn), а стало быть, и более сильный в своем стремлении к сродству с неметаллами, вытесняет более слабый в

этом отношении элемент (H_2) из его соединения. Как видим, возникновение химической реакции, ее ход, само превращение веществ совершается при наличии внутренних и действии внешних противоречий.

На различие внутренних и внешних противоречий указывал К. Маркс в работе «К критике гегелевской философии права». Он показал, что во внутреннем противоречии противоположными сторонами являются черты, тенденции одной и той же сущности, а во внешнем — разных сущностей. Характер противоречий первого вида К. Маркс проиллюстрировал на взаимоотношении между северным и южным полюсами как нераздельными и в то же время противоположными сторонами единого целого (магнита), а характер противоречий второго рода — на взаимоотношении между полюсом и неполюсом как противоположностями, принадлежащими различным сущностям и способными существовать друг без друга.

Различие между внутренними и внешними противоречиями, однако, не абсолютно, а относительно. Противоречие в одних связях и отношениях может выступать как внутреннее, а в других — как внешнее. Так, противоречие между молекулами веществ, вступающих в химическое взаимодействие, является внешним по отношению к противоречиям внутри молекулы каждого из реагентов. В то же время это внешнее противоречие становится внутренним для данной реакции как целостного явления, когда в результате взаимодействия образуется переходный комплекс. Все противоречия, свойственные явлениям химической формы движения, выражающие ее специфику, можно рассматривать как внутренние по отношению к противоречиям между явлениями химической и других форм движения. Подобные противоречия возникают, например, в процессе воздействия на химические вещества и реакции радиоактивным излучением, электромагнитным колебанием (светом), явлениями, относящимися к другим формам движения материи.

Таким образом, внутренние и внешние противоречия диалектически связаны между собой, переходят друг в друга. Поэтому при изучении причин развития необходимо учитывать как внутренние, так и внешние противоречия данного явления. Однако следует иметь в виду, что в силу их различия они играют не одинаковую роль. Главные и определяющие развитие любого явления —

это его внутренние противоречия, обусловливающие качественные изменения тел и явлений.

Известно, что в силу закона всеобщей связи любое тело и явление не существует изолированно от других тел и явлений, оно находится в связи с ними, во взаимодействии. Результаты этого внешнего взаимодействия влияют на развитие внутренних противоречий. Причем развитие и разрешение присущих, например, химическому веществу внутренних противоречий, т. е. само превращение, совершается по-разному (что устанавливается по конечным продуктам реакции) в зависимости от того, с каким реагентом исходное вещество вступает во взаимодействие (реакцию), т. е. результат обусловливается и характером внешнего противоречия. Последнее воздействует на развитие, ускоряет или замедляет его, так или иначе преломляется через отношения противоположностей внутреннего противоречия. Внутреннее противоречие — источник развития; внешнее противоречие — необходимое условие.

Влияние условий на развитие и разрешение внутренних противоречий в химических реакциях

Для возникновения и развития химического процесса необходимо непосредственное соприкосновение реагирующих веществ. Но очень часто этого бывает недостаточно. Так, для того чтобы пошла химическая реакция между серой и железом, мало одного лишь соприкосновения этих веществ. Как бы тщательно мы ни измельчили и ни перемешали их, реакция не пойдет. Но если эту смесь подвергнуть воздействию температуры, хотя бы на одном участке, между этими веществами начнется бурная экзотермическая реакция, которая быстро распространится по всей массе. Для получения многих важных для промышленности веществ зачастую требуется одновременно создать ряд условий. Например, при синтезе аммиака для возникновения реакции соединения водорода и азота применяют как высокую температуру, так и давление и, кроме того, специальный катализатор. Только это обеспечивает достаточную скорость протекания реакции образования аммиака.

Условия играют огромную роль в химии. Они являются важным фактором, вызывающим и определяющим

направление и ход химического процесса, его конечные продукты. Что же такое условия? В каком отношении находятся они к реагирующим веществам, к химическому явлению?

Известно, что тела и явления различных форм движения взаимосвязаны и обусловливают друг друга. Но взаимная обусловленность связанных между собой, например, двух каких-либо тел неодинакова. Одно из этих тел или явлений может существовать без другого, а другое без него не может. Понятие «условия» вытекает из факта подобной взаимосвязи. Тело или явление, обусловливающее существование другого тела или явления, и есть условие. Условие — это объективная реальность, это тело или явление материального мира. В химии условиями протекания химических явлений (реакций), изменения веществ выступают: действие других веществ, температуры, света, радиоактивного излучения, катализаторов, среды, давления и т. д. По своей значимости условия не одинаковы. Кроме необходимых, но недостаточных условий, бывают условия необходимые и вполне достаточные. Наличие их не только открывает принципиальную возможность осуществления какого-либо химического процесса, но и обеспечивает практическую его реализацию. Так, для получения кислорода из $KClO_3$ необходимым и достаточным условием является нагревание этой соли. Отличают также условия достаточные, но не необходимые. Например, для получения CO_2 достаточно подвергнуть разложению $CaCO_3$ (обжиг известняка), но CO_2 может быть получен и в результате действия кислоты на $CaCO_3$, наконец, как результат сгорания угля в избытке кислорода воздуха.

Могут быть условия, не воздействующие на существо химического процесса столь заметным образом. Они не вызывают и не подавляют химический процесс, а лишь благоприятствуют ему (например, среда, форма сосуда, в котором протекает реакция, интенсивность перемешивания и т. д.), влияют на протекание реакции, что, конечно, так или иначе сказывается на качестве и количестве конечных продуктов. Следует иметь в виду, что характер воздействия условия, способность данного тела или явления выступать в качестве условия для другого тела или явления зависят не только от его особенностей, но и от конкретной химической природы и свойств тел и явлений,

по отношению к которым оно выступает как условие. Это означает, что степень и характер воздействия условий в каждом отдельном случае различны и специфичны.

Не следует также смешивать условия и причины явлений. Условия — более широкое понятие. Причина тоже условие, но условие, которое из общей совокупности изменяющихся условий выделяется своим постоянным действием, устойчивостью. Следовательно, действие причины и условия в общем комплексе условий неравноценно. Однако односторонне абсолютизировать причину или условие, противопоставлять их друг другу или, наоборот, отрывать причину от условия было бы неправильно. Ход химического процесса, изменение веществ всегда определяется совместным действием как причины, так и всех остальных условий.

Итак, условия вызывают и обеспечивают протекание процесса разрушения одних связей, диссоциацию молекул — реагентов и возникновение других связей, образование молекул — продуктов реакции. Но существо реакции, ее движущая сила заключается в развертывании взаимодействия противоположностей, разрешении внутренних противоречий, присущих веществам — участникам реакции и данному конкретному химическому процессу как явлению в целом.

Особенно наглядно проявляется действие так называемых внешних условий (по отношению к реакции как целому) на развитие внутренних противоречий в обратимых процессах. Характер взаимодействия противоположных тенденций раскрывается здесь в виде закона химического равновесия. Обратимые реакции типа образования аммиака, галоидоводородов, различных окислов и т. д. распространены весьма широко. Они занимают в химии большое место. Рассмотрим простейшую такую реакцию — реакцию образования воды из элементов водорода и кислорода

$$2H_2 + O_2 \rightleftarrows 2H_2O + 137 \text{ ккал}.$$

Реакция практически протекает только при нагревании. С повышением температуры скорость реакции образования воды увеличивается. При 600—1000° С она протекает почти моментально (со взрывом). При дальнейшем повышении температуры до 4000—5000° вся вода вновь, также со взрывом, распадается на исходные газообразные продукты (H_2 и O_2). При промежуточной температу-

ре (2000—4000°) в системе присутствуют как молекулы газообразного водорода и кислорода, так и молекулы воды. Наступает так называемое динамическое равновесие.

В этом случае наиболее ярко раскрывается в специфической форме действие всеобщего закона единства и борьбы противоположностей. Очевидно, что существование обратимых химических реакций (в принципе обратимы все) обусловливается единством, определенным взаимодействием двух противоположных тенденций. Равновесие между этими взаимоисключающими тенденциями означает момент тождества, совпадения противоположностей. Оно возможно тогда, когда скорости прямого и обратного процесса равны или когда концентрация образующегося вещества (H_2O) и веществ, вступающих в реакцию (H_2 и O_2) в единицу времени, одинаковы. В превращении (движении) вещества это выражает состояние относительного покоя. Развитие реакции, доведение ее до конца, т. е. нарушение единства взаимодействующих противоположных тенденций, зависит от условий. Реализуется та тенденция равновесного химического процесса, для которой будут созданы наиболее благоприятные условия и скорость осуществления которой поэтому будет преобладать.

Скорость химической реакции зависит, как известно, от внутренних (концентрация) и внешних (нагревание, увеличение давления) условий. Результат взаимодействия противоположных тенденций, сдвиг равновесия при изменении внутренних и внешних условий, определяется законом действующих масс и принципом Ле Шателье. Этот принцип, в частности, также весьма наглядно представляет специфическое выражение закона единства и борьбы противоположностей. Если на равновесную систему оказывать какое-либо внешнее воздействие, то система отвечает противодействием, направленным на уменьшение этого внешнего воздействия. Так, при нагревании равновесие в обратимом химическом процессе $2H_2+O_2 \rightleftarrows 2H_2O$ смещается в сторону образования свободных водорода и кислорода. Но по закону действующих масс одновременно ускоряется и обратная реакция, идущая с выделением тепла, т. е. в системе постоянно нарастает противодействие. Она сама начинает выделять все больше тепла в единицу времени. Новое равновесие устано-

вится тогда, когда концентрации свободных кислорода и водорода вырастут настолько, что выделяемое при их взаимодействии количество теплоты станет равно количеству теплоты, сообщаемому за то же время извне. Аналогично и влияние давления. Воздействие внутренних и внешних факторов на обратимый химический процесс позволяет сдвигать равновесие реакции, проводить ее в нужном направлении.

Через изменение внешних условий можно влиять на развитие внутренних противоречий. Подбирая определенным образом условия, можно одну из взаимодействующих противоположных сторон, тенденций противоречия подавлять, сводить на нет, а другой давать преимущество. В химии это достигается изучением кинетики химических реакций, увеличением скорости процесса.

Знание форм взаимодействия противоположностей, характера и диалектики внутренних и внешних противоречий, обусловливающих химическое превращение, знание моментов тождества (равновесия) противоположностей и условий их смещения предохраняет химика от узкого эмпиризма, позволяет на принципиально правильной методологической основе строить химические теории, вести научное исследование.

Противоречие и химическая связь

Центральная проблема химической науки — установление причины химического взаимодействия частиц, выяснение движущей силы реакции. Практически эта проблема сводится к раскрытию характера и природы возникающей в процессах изменения веществ химической связи.

Связь и движение вообще или химическая связь и превращение веществ взаимообусловлены. Движение, как подчеркивал Ф. Энгельс, есть следствие взаимного воздействия тел друг на друга. Естественно, что взаимодействие, а следовательно, и превращение веществ, возможно лишь при условии их связи. Само «поведение той или иной молекулы в различных химических реакциях зависит от типа связи между атомами, образующими данную молекулу»[1]. Это значит, что химические связи, их харак-

---

[1] Я. И. Михайленко. Курс общей и неорганической химии. М., 1966, стр. 124.

тер обусловливает присущее веществу противоречие, особенности последнего.

Действительно, что такое противоречие? Это определенное взаимодействие между противоположными сторонами тела, явления. Следовательно, противоречие существует лишь тогда, когда имеется связь между противоположностями. Нет связи между противоположностями, нет между ними единства — нет и взаимодействия противоположностей, т. е. не существует и самого противоречия. Противоречие проявляется только в связях и через связи. Изучение характера связи между противоположными сторонами одной сущности (внутренние противоречия) или двух разных сущностей (внешние противоречия) помогает раскрыть особенности, специфику единства и взаимодействия между ними, т. е. конкретную природу противоречия.

Установление зависимости взаимодействия противоположных сторон противоречия от условий через изменение связи между ними позволяет выяснить, как развиваются и разрешаются противоречия. В химических превращениях это дает возможность предвидеть направление реакции и ее конечный результат.

В каких случаях взаимодействуют между собой вещества? Этот ключевой вопрос химической науки неизменно вставал с момента ее возникновения. Изучение причин «взаимного союза частиц» еще М. В. Ломоносов считал главной задачей химии. Действительно, знание того, почему одни вещества активно реагируют между собой, а другие при тех же условиях не образуют никаких соединений, открыло путь к целеустремленному проведению химических процессов. М. В. Ломоносов утверждал, что путь к этому лежит через изучение строения «нечувствительных частиц» («элементов» — атомов, «корпускул» — молекул. — *Н. Б.*), составляющих природные тела. «Во тьме должны обращаться физики, а особливо химики, не зная внутреннего нечувствительных частиц строения»[1].

Исторически решение проблемы «химического сродства», под которым стали понимать стремление атомов соединяться друг с другом, шло по пути прежде всего выяснения природы тех сил, которые обусловливают образование химических соединений. Издавна многочис-

[1] М. В. Ломоносов. Избранные философские произведения. М., 1950, стр. 343.

ленные факты наглядно показывали, что атомы вступают друг с другом в соединение и между ними возникает химическая связь с образованием сложного вещества не случайно. Химическое взаимодействие осуществляется между атомами не любых элементов, а лишь определенных. Согласно правилу Г. Таммана, элементы одной и той же подгруппы периодической системы в общем химически не взаимодействуют, не образуют между собой соединений. Этому правилу, как указывает Г. Реми, «подчиняется огромное большинство элементов как главных, так и побочных подгрупп периодической системы — особенно металлы» [1].

Когда же возникает химическая связь и какова ее конкретная природа? В прошлом веке, когда сущность и причины возникновения химической связи были еще неясными, имеющийся обширный экспериментальный материал, казалось бы, позволял делать вывод, что химическая связь образуется между частицами веществ с противоположными свойствами. И. Я. Берцелиус, опираясь на эту идею, первый пытался разрешить вопрос о химической связи на основе электростатических представлений. Он создал теорию об электрической природе химического сродства (электрохимическая теория). По этой теории, атомы каждого элемента имеют два противоположных электрических полюса — положительный и отрицательный. Но в процессе реакции заряд одного полюса преобладает над зарядом другого, и это обусловливает или электроположительный (металлы) или электроотрицательный (неметаллы) характер элемента. Взаимодействуют, образуя связь между собой, лишь атомы веществ с противоположной электрической природой. Значит, причиной возникновения химической связи является электростатическое притяжение разноименных зарядов. Так, в результате притяжения положительно заряженного атома водорода к отрицательно заряженному атому хлора получается хлористый водород.

Развитие органической химии предоставило много фактов, противоречащих гипотезе Берцелиуса. Действительно, о каком существовании полюсов или заряженных атомов может идти речь в молекуле водорода, когда она не обнаруживает никаких признаков полярности, или в

---

[1] Г. Реми. Курс неорганической химии, т. I. М., 1963, стр. 33.

метане, тоже неполярном, в котором, кстати сказать, можно последовательно заменить все атомы водорода, считавшегося, по Берцелиусу, положительным (поскольку при электролизе водородсодержащих соединений ион водорода выделяется на катоде), отрицательными атомами хлора. Стало ясно, что сводить химическую связь к простому притяжению противоположно заряженных атомов и тем более распространять подобное представление на молекулы всех веществ нельзя.

Достижения физики в изучении структуры атома и в первую очередь свойств электрона привели к установлению важнейшего для химии факта: химические свойства атома определяются числом и характером распределения электронов в его оболочке, т. е. электронным строением атома. В основу новых гипотез о химической связи легло представление о перемещении электронов от одного из соединяющихся атомов к другому. Ядра атомов в процессах химических превращений остаются без изменений. Значит, химическая связь между атомами в молекуле осуществляется путем перераспределения между ними главным образом валентных (внешних), наиболее удаленных от ядра и поэтому наименее прочно связанных с ядром электронов.

Изучение химических свойств инертных газов и их строения послужило основой для первых теорий химической связи. Так, было установлено, что химически пассивные, существующие в атомном состоянии инертные газы имеют на внешней оболочке восемь электронов (электронный октет). Поскольку подавляющее большинство химических элементов при обычных условиях t и p существуют в виде соединений, в различных агрегатных состояниях, то очевидно, что соединения более устойчивы, чем свободные атомы. Именно исходя из этого немецкий физик В. Коссель предположил, что вступление в реакцию атомов элементов с образованием химической связи между ними обусловлено стремлением этих атомов сделать свою внешнюю оболочку восьмиэлектронной, т. е. энергетически устойчивой, как у инертных газов (неона, аргона и др.). Это достигается или путем приобретения одним атомом недостающих электронов и дополнения этим самым его внешней оболочки до октета, или путем отдачи другим атомом своих электронов и превращения следующей внутренней восьмиэлектронной оболочки во

внешнюю. В результате атомы становятся положительно или отрицательно заряженными ионами, которые и связываются кулоновским взаимодействием. Химическая связь, возникающая между этими разноименно заряженными атомами, вызвана, следовательно, электростатическим притяжением. Эта связь называется, как известно, ионной (электровалентной, или гетерополярной).

Итак, согласно этим представлениям, ионная связь образуется только при соединении между собой противоположных по знаку электрического заряда ионов. В этом случае один атом передает другому один или несколько электронов. Например, при соединении калия и хлора последний в силу своей значительно большей электроотрицательности[1] при сближении на расстояние, близкое к атомным радиусам, почти полностью (~80—85%) перетягивает на свою орбиту с орбиты атома калия его единственный внешний электрон. В результате такого перераспределения $\dot{K} + Cl = K^{+} + :\ddot{\underset{..}{Cl}}:^{-}$ электронов в ходе химической реакции образуется молекула с ионной связью. В растворе она может дать два иона. Противоположно заряженные, они прочно связываются силами электростатического притяжения.

Ионная связь характерна для многих неорганических соединений таких, как кислоты, щелочи и соли (электролиты). Так, Коссель, создав в 1915 г. теорию ионной связи, возродил через 70 лет идею Берцелиуса о природе химической связи как взаимодействии двух противоположно заряженных частиц. С помощью теории Косселя не удается, однако, объяснить возникновение химической связи и образование многих веществ: например, простых, состоящих из одинаковых атомов или из атомов элементов близкой или одинаковой электроотрицательности, а также многочисленных органических соединений, молекулы которых в водном растворе не распадаются на ионы.

Американский химик Г. Льюис (1916) решал эту задачу, тоже опираясь на правило октета. Он допустил, что образование последнего происходит путем обобщения на наружной оболочке одной или нескольких пар (дублетов)

---

[1] Электроотрицательность рассматривается как некоторое качественное свойство, которое характеризует способность атома в молекуле притягивать к себе электроны. См.: Л. Паулинг. Природа химической связи. М., 1947, стр. 65.

электронов от обоих соединяющихся атомов. Например,

$$CH_3OH \rightarrow H:\underset{H}{\overset{H}{\ddot{C}}}:\underset{..}{\ddot{O}}:H.$$

Таким образом, на внешних (валентных) уровнях каждого из взаимодействующих атомов возникают восьмиэлектронные оболочки. Подобная электронная структура, как уже указывалось, является наиболее устойчивой, и ее обычно стремятся приобрести все элементы, образующие органические соединения. Теория Льюиса охватывала гораздо больший круг химических соединений.

Эта так называемая ковалентная (или гомеополярная) связь образуется в простейшем случае между двумя одинаковыми по своей электроотрицательности атомами, например, в молекуле водорода или хлора. Общая электронная пара, двигающаяся в поле обоих ядер, и связывает атомы в единое целое — молекулу.

Однако октетная теория до некоторой степени противоречила складывающимся в новейшей физике представлениям о строении атома. Октетная теория, например, рассматривала электрон как корпускулу, в то время как обнаружилась его двойственная, корпускулярно-волновая природа (Де Бройль, 1924), вследствие этого электрон нельзя фиксировать в определенной точке пространства (он «размазан» в виде облака вокруг ядра). Было также непонятно, как и почему в связующей паре (дублете) электроны, обладающие одинаковыми по знаку зарядами, прочно связаны и образуют устойчивую связь между двумя атомами.

Разрешению этих противоречий и неясностей способствовало, во-первых, предположение С. Гаудсмита и Дж. Уленбека (1925) о существовании такого важного свойства электрона, имеющего особое значение для образования химической связи, как спин, во-вторых, создание квантовой теории. Согласно представлению о спине, электрон, кроме вращения вокруг ядра по определенной орбите, вращается также вокруг собственной оси, обладая вследствие этого дополнительным магнитным моментом (спином). В зависимости от направления вращения электронов (по часовой стрелке или против) спины различаются по знаку. Существование спина было убедительно обосновано П. Дираком, сформулировавшим волновое уравнение для электрона (1928). Позднее этому

было представлено прямое экспериментальное доказательство.

Крупнейший вклад в раскрытие сущности химической связи, ее специфичности, механизма образования внесла квантовая теория. В соответствии с последней необходимым условием для образования химической связи между двумя атомами является перекрывание облаков их электронов. Чем больше это перекрывание, тем больше плотность отрицательного заряда между положительно заряженными ядрами, тем прочнее стягиваются атомы. Из этого положения квантовой теории Л. Полинг сделал вывод, что электрон образует связь в том направлении, в котором расположена наибольшая часть его облака. Следовательно, для выяснения пространственной структуры многоатомных молекул необходимо знать пространственное распределение плотности облака электронов, образующих химические связи.

Успешный расчет в 1927 г. В. Гейтлером и Ф. Лондоном с помощью квантово-механических методов энергии связи и равновесного межатомного расстояния молекулы H_2 положил начало квантовой химии. Оказалось, что молекула H_2 образуется лишь тогда, когда составляющие дублет электроны имеют противоположно направленные (антипараллельные) спины. Только в этом случае при сближении атомов происходит взаимное перекрывание их электронных облаков и формируется как бы единое электронное облако молекулы, охватывающее ядра обоих атомов. В местах перекрывания электронных облаков возникает область повышенной электронной плотности, т. е. увеличенного отрицательного заряда. В результате силы взаимного отталкивания одноименно заряженных ядер уравниваются силами притяжения, действующими между каждым из ядер и центром электронной плотности. Это обстоятельство и выигрыш энергии вследствие уменьшения расстояния между ядрами приводит к образованию прочной химической связи.

В случае если спины электронов двух сближающихся атомов параллельны, электронная плотность между ядрами при сближении будет уменьшаться, а силы отталкивания, соответственно, возрастать, и молекула поэтому не образуется. Расчеты многих других двух- и более атомных молекул (Li_2, HeH и т. д.) подтверждают это положение. Образование химической связи не имеет места, когда

в обеих из взаимодействующих частиц (атомов, молекул) спины всех электронов скомпенсированы, т. е. имеют попарно противоположные направления (запрет Паули). В этом случае «обмен с третьим электроном вызывает отталкивание»[1]. Этим объясняется характерное свойство ковалентных химических связей: насыщаемость.

Квантово-механическая теория молекул позволила выяснить не только природу насыщаемости, но и направленность валентностей. Как выяснилось, в образовании химических связей могут принимать участие электроны (в многоэлектронной молекуле), находящиеся в различных состояниях, т. е. на различных энергетических подуровнях (s, p, d, f), а следовательно, и отличающиеся друг от друга формой и распределением электронного облака в пространстве. Это соответственно определяет свойства образуемых ими ковалентных связей.

В соответствии с характерными для различного типа электронов формами электронных облаков наибольшей прочностью обладает ковалентная химическая связь, образованная p-электронами от каждого атома, т. е. связь $p — p$. В этом случае наблюдается наибольшая степень перекрывания электронных облаков, наибольшее выделение энергии и, следовательно, наибольшая сила притяжения. Кроме того, поскольку облако p-электрона не обладает сферической симметрией в отличие от s-электрона, а состоит как бы из двух «яйцеобразных частей» (гантель, восьмерка), перекрывающихся заостренными концами, то плотность его на одном и том же расстоянии от ядра различна в разных направлениях. Отсюда плотность перекрывания p-электронов будет зависеть и от направления, в котором сближаются соединяющиеся атомы. Это будет то направление, которое обеспечивает максимальное перекрывание электронных облаков, электронов, образующих пару; направление, вдоль которого возникновение связи наиболее выгодно энергетически. Аналогичной направленностью и большой прочностью обладает и ковалентная химическая связь, образованная d-электронами.

Слабее ковалентная связь при перекрывании облаков s- и p-электронов и еще слабее связь, образованная дву-

---

[1] Я. К. Сыркин и М. Е. Дяткина. Химическая связь и строение молекул. М., 1946, стр. 90.

мя *s*-электронами. В последнем случае, поскольку облака *s*-электронов обладают сферической симметрией, т. е. приближенно могут рассматриваться как шарообразные, *s*-электроны образуют связи без преимущественной направленности.

Таким образом, ковалентные связи обладают насыщаемостью. Они направленны и имеют определенную прочность, длину и валентные углы. Взаимной ориентацией связей в пространстве в основном и обусловлена форма образующихся молекул.

Химические соединения с чисто ионной, или ковалентной, связью встречаются, однако, сравнительно редко. В большинстве случаев область максимальной электронной плотности в общем электронном облаке молекулы в силу различной электроотрицательности образующих ее атомов и их взаимного влияния бывает несколько смещена в сторону одного из них, в сторону более электроотрицательного атома. Такое смещение электронной плотности вызывает появление в молекуле двух полюсов с эффективным отрицательным и эффективным положительным зарядами. Например, при образовании молекулы HCl общее электронное облако, связывающее атом водорода с атомом хлора, несколько смещено в сторону хлора, как обладающего большей электроотрицательностью. В результате атом водорода, обедненный электронной плотностью, приобретает положительный эффективный заряд, а атом хлора — отрицательный.

Молекула любого химического вещества с ковалентной связью, даже неполярная, может быть в той или иной степени поляризована. Это достигается, например, действием электрического поля, света, радиоактивного излучения, введением соответствующих заместителей и т. д. Молекуле, таким образом, органически присущи внутренние различные тенденции, противоположности, находящиеся в определенном взаимодействии. В стабильном состоянии молекулы противоположности тождественны (молекула электронейтральна), но это тождество временно, относительно и нарушается в процессе химического превращения. Следовательно, противоречия проявляются, развиваются и разрешаются в ходе химических реакций под влиянием соответствующих внешних воздействий. Причем в процессе развития этих противоречий, т. е. взаимодействия противоположных тенденций,

сторон, происходит изменение свойств молекулы вещества (например, цветности, ароматичности, физиологического воздействия и др.). Разрешение противоречия, характеризующееся полным или частичным разрывом химической связи, сопровождается образованием молекулы качественно нового вещества с присущими ей противоречиями и соответствующими формами взаимодействия противоположностей и связи между ними.

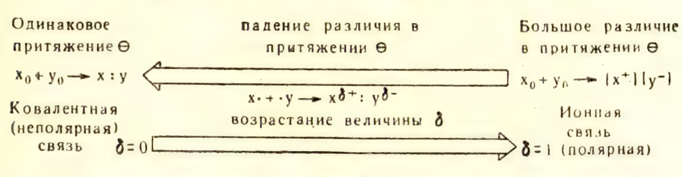


Рис. 7.

Оба рассмотренных типа связи — ионная и ковалентная — представляют из себя два крайних случая. Чисто ионная или чисто ковалентная связь встречается сравнительно редко. Обычно в силу различной электроотрицательности атомов и их взаимного влияния электронное облако, образующее связь, как говорилось, всегда несколько смещено в сторону какого-либо одного из атомов. Это и делает связи полярными. Степень их полярности определяется разницей в электроотрицательности связываемых атомов. С уменьшением этой разницы связь по своему характеру все больше приближается к ковалентной, и наоборот, с увеличением — к ионной.

Это видно из приведенной схемы взаимоперехода ионной и ковалентной связи (полярная связь представлена как промежуточная между ними). Здесь x и y — атомы реагирующих элементов, δ — эффективный заряд атома в соединении (см. рис. 7).

Итак, в образовании химической связи из всех известных в природе сил участвуют лишь электрические силы. Это силы взаимодействия электрических зарядов, носителями которых являются электроны и ядра атомов. *Химическая связь есть, следовательно, результат взаимодействия противоположностей.* Она возникает между положительно и отрицательно заряженными частицами — катионами и анионами (ионная связь), между атомами с неспаренными электронами, имеющими противоположные спины (ковалентная связь). «Возникновение тех или

йных связей обусловливается различием во взаимодействии электронов»[1]. Сама специфика химической связи, т. е. характер взаимодействия противоположностей, «определяется волновыми свойствами электронов и особой корреляцией в их движении»[2].

Известно, что свойства и химические превращения молекул определяются их строением. В свою очередь, «строение молекул является результатом взаимодействия атомов, т. е. химических связей, существующих между ними»[3]. Таким образом, *природа и специфика основных химических связей более глубоко раскрывается на основе учения о противоречиях.* Знание же химических связей, их существа и устойчивости, условий возникновения, разрушения или перераспределения, т. е. характера взаимодействия между различными атомами и атомными группами, образующими молекулу вещества, открывает путь к установлению ее реакционной способности и строения. Познание строения дает возможность, воздействуя на него, управлять химическими превращениями вещества.

Взаимодействие противоположностей — основа возникновения химических связей

Развитие новейшей экспериментальной физики, применение квантово-механических методов и электронных представлений дали много сведений о строении атомов и молекул. Стало очевидным, что наряду с химическим строением, как его понимал А. М. Бутлеров, при определении химических и физических свойств молекул необходимо учитывать их пространственное строение, валентное состояние атомов, природу и характер химической связи, ее направленность, степень поляризации и т. д. Опираясь на эти данные, оказалось возможным причинно объяснить, раскрыть сущность и установить некоторые общие закономерности важнейшего процесса взаимного влияния атомов в молекуле, имеющего огромное значение для выяснения способности частиц веществ к химической реакции, направления последней.

---

[1] Я. И. Михайленко. Курс общей и неорганической химии, стр. 105.

[2] «Краткая химическая энциклопедия», т. 3, стр. 267.

[3] К. Д. Неницеску. Органическая химия, т. I, стр. 57.

Этим было дано также современное теоретическое обоснование правила В. В. Марковникова о присоединении галогеноводородов к непредельным органическим соединениям.

Как известно, различают следующие случаи взаимного влияния атомов: а) непосредственно связанных друг с другом и б) опосредованно, через ряд других атомов. В первом случае, например, водород в соединениях CH_4, H_2O, HF имеет различный химический характер. Так, находясь в непосредственной связи с атомом C (в CH_4), водород практически не замещается металлами; в H_2O водород значительно «подвижнее» и легко замещается щелочными и щелочноземельными металлами; в HF водород способен легко замещаться большинством металлов. Связь HF разрывается даже под действием воды.

Различный химический характер водорода в CH_4, H_2O и HF объясняется различной полярностью и поляризуемостью его связей в этих соединениях. Полярность связей, как известно, количественно характеризуется разностью электроотрицательностей атомов, образующих эти связи. Чем больше эта разность, тем связь полярнее и тем, следовательно, водород подвижнее. Действительно, расчеты полярности связей по шкале электроотрицательности (по Полингу) показывают, что полярность связей водорода от соединения с углеродом к соединению с кислородом и фтором растет,

т. е. $\underset{(0,4)}{C{-}H} < \underset{(1,4)}{O{-}H} < \underset{(1,9)}{F{-}H}$ В скобках величины полярностей соответствующих связей

Таким образом, взаимное влияние атомов, непосредственно связанных друг с другом, определяется их природой (электроотрицательностью), или, иначе говоря, полярностью связи между ними.

Взаимное влияние атомов имеет место и тогда, когда они непосредственно не связаны друг с другом, а разделены системой простых связей. Это влияние в данном случае осуществляется индукционным путем. Чтобы показать характер такого влияния, А. Е. Чичибабин рассматривает обобщенный пример [1].

---

[1] См.: А. Е. Чичибабин. Основные начала органической химии, т. I, стр. 142—143.

Сравниваются три системы:

$$X-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-A \qquad H-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-A \qquad Y-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-A$$

1 2 3

Если X — электроотрицательный атом (F, Cl, Br) или электроотрицательная группа атомов, то связь X — C поляризована так, что X является отрицательным концом диполя, а углерод — положительным. Поскольку C несет некоторый положительный заряд, то электронная пара, связывающая его с соседним атомом C, смещается по направлению к первому C-атому. Это в свою очередь вызывает оттягивание электронной пары от атома (или группы атомов),

что изображается так:

$$X \leftarrow \overset{|}{\underset{|}{C}} \leftarrow \overset{|}{\underset{|}{C}} \leftarrow A.$$

Благодаря подобному индукционному влиянию атома X, отрыв атома A в виде катиона в системе 1 происходит легче, чем в системе 2. В случае если Y — электроположительный атом (или группа атомов), то он оказывает противоположное индукционное влияние, т. е.

$$Y \rightarrow \overset{|}{\underset{|}{C}} \rightarrow \overset{|}{\underset{|}{C}} \rightarrow A.$$

Тогда разрыв связи C — A с образованием аниона A в системе 3 облегчен по сравнению с системой 2.

Итак, индукционное смещение электронных плотностей в результате влияния введенного заместителя вызывает поляризацию молекулы, появление двух полюсов с некоторыми отрицательным и положительным зарядами. Это сказывается на свойствах и, в частности, на характере химических реакций вещества.

Так, введение в молекулу предельной одноосновной кислоты жирного ряда электроотрицательной группы или элемента, например хлора, увеличивает константу диссоциации, определяющую силу кислоты.

3 2 1	$K \cdot 10^4$
$CH_3CH_2CH_2COOH$ (масляная)	0,155
$CH_3CH_2CHClCOOH$ (1-хлормасляная)	14,0
$CH_3CHClCH_2COOH$ (2-хлормасляная)	0,89
$CH_2ClCH_2CH_2COOH$ (3-хлормасляная)	0,26

Как видим, константа диссоциации падает по мере удаления хлора от карбоксила.

Объясняется это тем, что замещение водорода, например, у первого атома С (1-хлормасляной кислоты) вызывает «оттягивание» ионом хлора электронной пары, вследствие чего у этого углерода возникает частично положительный заряд. Это в свою очередь вызывает «оттягивание» электронной пары от соседнего углерода (карбоксильной группы) и т. д. по цепи. В результате в гидроксильной группе электронная пара оказывается сильно оттянутой к кислороду. Поэтому связь между кислородом и водородом ослабевает, последний делается более подвижным. Степень ионизации кислоты увеличивается, сила ее возрастает, что и находит свое выражение в увеличении константы диссоциации.

$$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-C\begin{matrix}\nearrow\!\!\!/\,O\\ \nwarrow\searrow O \leftarrow H.\end{matrix}$$

Влияние полярности связи в молекуле органического соединения на протекание химических реакций сказывается весьма определенным образом. Так, в случае гидролиза галоидного соединения

$$H_3C-Cl + \overset{+}{H}-\overset{-}{OH}=H_3C-OH + HCl$$

«атом молекулы исходного вещества, соединяющийся с атомом водорода, должен обладать отрицательной полярностью, а тот, который соединяется с гидроксил-ионом, — положительной полярностью. Реакция, приводящая к получению CH_4 или $HOCl$, никогда не наблюдалась»[1].

Этот пример наглядно показывает, что и в реакциях веществ с полярными ковалентными связями, как и в реакциях веществ с ионными связями, образование соединений идет *по принципу взаимодействия противоположностей.* Соответственно в реакции диметилцинка с водой образуется метан и гидроокись цинка.

$$H_3C-Zn-CH_3 + 2\overset{+}{H}-\overset{-}{OH} = 2CH_4 + Zn\,(OH)_2$$

[1] К. Д. Неницеску. Органическая химия, т. I, стр. 52.

«В этом случае метильная группа обладает отрицательной полярностью, а металл — положительной»[1].

Взаимным влиянием атомов в молекулах путем перераспределения электронной плотности может быть объяснен целый ряд закономерностей, наблюдающихся в реакциях углеводородов. Это относится, в частности, к правилу В. В. Марковникова о присоединении к непредельным углеводородам. В соответствии с этим правилом, при реакциях присоединения к этиленовым и ацетиленовым углеводородам по месту двойной и тройной связи атом водорода присоединяющейся молекулы направляется к наиболее, а остальная ее часть к наименее гидрогенизированному (с наименьшим количеством водорода) атому углерода. Например, $CH_3-CH=CH_2 + HCl \rightarrow$

$\rightarrow CH_3-CHCl-CH_3$

Присоединение к диеновым углеводородам с сопряженными связями (когда две двойные связи разделены простой) имеет некоторые особенности. В частности, присоединение идет не по месту каждой двойной связи, а преимущественно в положение 1, 4, т. е. к концевым атомам углерода сопряженной системы с соответствующим перемещением двойной связи в положение — 2,3. Например,

$$CH_2=CH-CH=CH_2 + HBr \rightarrow CH_3-CH=CH-CH_2Br.$$

Эти закономерности, сформулированные первоначально В. В. Марковниковым как чисто эмпирические правила, не являются абсолютными. Они характеризуют лишь основное направление реакции и то при определенных конкретных условиях. Несмотря на имеющиеся исключения, эти правила играют важную роль, ибо дают возможность предвидеть направление многих реакций, т. е. осуществлять целенаправленный синтез органических соединений. С помощью электронных представлений дано теоретическое объяснение этих правил, а также причин, по которым они иногда не соблюдаются.

Установлено, что реакции присоединения к непредельным углеводородам во многих случаях носят ион-

[1] К. Д. Неницеску. Органическая химия, т. I, стр. 52.

ный характер. Это происходит потому, что они протекают с участием в качестве промежуточных частиц — ионов. Одним из факторов, определяющих ионный характер этих реакций, является особое строение двойных и тройных связей, которые являются комбинированными, состоящими из σ- и π-связей. Известно, что первая — это связь, «образованная электронным облаком, имеющим максимальную плотность на линии, соединяющей центры атомов» [1], а вторая образуется двумя *р*-электронами, орбиты которых дают «наибольшее перекрывание по обе стороны от линии, соединяющей центры атомов» [2]. π-связь в отличие от очень прочной σ-связи мало устойчива, легко поляризуется. Образующее эту связь π-электронное облако очень чувствительно ко всякого рода внутренним и внешним воздействиям, подвижно и легко смещается от одного атома к другому.

Так, благодаря смещению π-электронного облака в возбужденной молекуле этилена (в результате воздействия электрического поля, атакующих агентов — ионов, полярных молекул, катализаторов и т. д.) происходит ее поляризация. На атомах углерода появляются частичные заряды: положительный на одном и отрицательный на другом, т. е. $\overset{\delta+}{CH_2} \overset{\longrightarrow}{=} \overset{\delta-}{CH_2}$. Подобное смещение π-электронного облака в производных и гомологах этилена имеет место постоянно в силу наличия в молекуле того или иного заместителя. Величина и направление смещения определяются так же, как и при образовании связи между атомами, разницей в электроотрицательности этих заместителей и винильной группы ($—CH{=}CH_2$). Если электроотрицательность заместителя X_1 больше ($—CH{=}CH_2$), то π-электронное облако смещается в его направлении (а), если меньше (заместитель X_2), то в направлении винильной группы (б)

$$\text{а)}\ X_1 \leftarrow \overset{\delta-}{CH} = \overset{\delta+}{CH_2} \qquad \text{б)}\ X_2 \rightarrow \overset{\delta+}{CH} = \overset{\delta-}{CH_2}.$$

Благодаря такой легкой поляризуемости π-связи, под влиянием заместителей и атакующих агентов реакции присоединения протекают по ионному механизму. Есте-

[1] М. Х. Карапетьянц, С. И. Дракин. Строение вещества. М., 1967, стр. 170.

[2] Там же, стр. 171.

ственно, что в соответствии с общим положением «противоположные соединяются» протон и заменяющий его катион, несущий положительный заряд, из присоединяющейся молекулы направляются к отрицательно заряженному, а остальная часть молекулы в виде аниона — к положительно заряженному атому углерода двойной связи:

$$X_2 \rightarrow \overset{\delta+}{CH}=\overset{\delta-}{CH_2} + \overset{\delta+\delta-}{HCl} \rightarrow X_2{-}CHCl{-}CH_3$$

$$X_1 \leftarrow \overset{\delta-}{CH}=\overset{\delta+}{CH_2} + \overset{\delta+}{H}\overset{\delta-}{Cl} \rightarrow X_1{-}CH_2{-}CH_2Cl.$$

Таким образом, по правилу В. В. Марковникова протекают реакции присоединения лишь к непредельным соединениям, содержащим меньший электроотрицательный заместитель по сравнению с винильной группой. В других случаях это правило не приложимо.

Вследствие сопряжения электронное облако приобретает весьма высокую подвижность и легко смещается (поляризуется) вдоль сопряженной цепочки под влиянием внутренних и внешних факторов. Направление смещения, как уже указывалось, определяется характером заместителя или атакующего агента. Так, под действием HCl происходит поляризация сопряженной цепочки, атом углерода в положении 4 приобретает частичный положительный заряд, а в положении 1 — отрицательный. Этим и объясняется предпочтительная способность диеновых соединений присоединять в положение 1,4, т. е. к концевым углеродным атомам сопряженной системы.

$$\overset{+}{H} + \underset{1}{\overset{\delta-}{CH_2}}=\underset{2}{CH}-\underset{3}{CH}=\underset{4}{\overset{\delta+}{CH_2}} \rightarrow [CH_3{-}CH=CH{-}CH_2]^+ \rightarrow$$

$$\xrightarrow{+Cl^-} CH_3{-}CH=CH{-}CH_2{-}Cl.$$

Определение смещения электронных плотностей в молекулах при наличии различных заместителей, групп заместителей и различных комбинаций σ- и π-связей яв-

ляется более усложненным. Однако принцип этого определения остается тот же, а именно: через расчет электроотрицательностей атомов элементов и образуемых ими групп, находящихся в составе данной молекулы.

Действием электростатических противоположных сил притяжения и отталкивания объясняются также и так называемые правила ориентации. Эти закономерности касаются определения места вступления нового заместителя при реакциях замещения атомов водорода у предельных углеводородов и в ядре у производных ароматических углеводородов. В этом отношении наиболее изучены процессы замещения атомов водорода при нитровании, сульфировании, галогенировании производных бензола. Известно, что электронная плотность в циклах замещенных бензола, гетероциклических соединениях ароматической природы, конденсированных ароматических системах распределена неравномерно. Отсюда вступающий заместитель направляется в положение, которое определяется как самой природой атакующего реагента, так и характером уже имеющегося в соединении заместителя (ориентанта).

На основании экспериментальных данных все заместители по их направляющему действию, характеру влияния на ядро ароматического соединения в основном разделяются на два типа. Ориентанты первого рода — это электродонорные (отдающие) группы (OH, NH_2, SH, OR, NHR, галогены и т. д.), ориентанты второго рода — электроноакцепторные (принимающие) группы NO_2, $C{\equiv}N$, CF_3, COOH, COOR, SO_3H и т. д. Когда атакующим реагентом является катион или группа, несущая положительный заряд (реакция электрофильного замещения), то ориентанты первого рода направляют вступающий заместитель в *орто-* и *пара*-положение, а второго рода — в *мета*-положение. Это объясняется характером распределения электронного облака, имеющего повышенные электронные плотности в положениях в зависимости от введенной группы (заместителя).

Так, ь случае заместителей первого рода (электродоноры) электронное облако смещено в направлении бензольного ядра.

Отсюда приближение электрофильной (несущей положительный заряд) частицы к *орто-* и пара-положению

является энергетически более выгодным по сравнению с *мета*-положением.

В случае электроноакцепторного (принимающего) заместителя, наибольший сдвиг электронной плотности наблюдается к атомам углерода, находящимся в *мета*-положении к заместителю, т. е. при общем положении электронной плотности бензольного кольца относительно наибольшая его плотность будет сосредоточиваться у атомов углерода, находящихся в *мета*-положении к заместителю.

Если в бензольном кольце содержатся два и более заместителя, то их действие на направление реакции сказывается по-разному. Когда имеет место согласованная ориентация (*мета*-двузамещенные бензолы, содержащие ориентанты одного рода, либо *орто*- или *пара*-двузамещенные бензолы с заместителями различного ориентирующего действия), то реакция осуществляется в соответствии с влиянием обоих заместителей. В случае конкурирующей ориентации направление реакции определяется влиянием ориентанта первого рода. При несогласованном действии двух ориентантов одного рода ориентация определяется заместителем более активным, в соответствии с их положением в так называемых рядах Голлемана ($OH > NH_2 > Cl > J > Br > CH_3$ — ориентанты первого рода и $COOH > SO_3H > NO_2$ — ориентанты второго рода). В данных случаях установление сдвига электронных плотностей, мест наибольшей электронной плотности является более сложным. Но это не меняет существа дела.

Лишь с позиций электронных воззрений, взаимодействия противоположных сил электростатического притяжения и отталкивания можно объяснить (с известным, конечно, приближением) причину различного направля-

ющего действия заместителей первого и второго рода в зависимости от условий, предсказать ход реакции, получение того или иного соединения. И в этих конкретных случаях в специфической форме, присущей химическому превращению, взаимодействие противоположностей является основой возникновения химической связи, движущей силой реакции.

Об определении характера и прочности химической связи

Проникновение внутрь строения атома и изучение свойств электрона позволили не только раскрыть сущность химической связи и условия ее возникновения, но и решить вопрос об определении характера и прочности этой связи.

Оказалось, что реакционная способность химического элемента, т. е. его стремление вступать во взаимодействие с образованием тех или иных видов химической связи, зависит как от числа электронов на внешних энергетических уровнях атомов, так и от размеров последних, от формы электронных облаков, электронной плотности и степени симметрии расположения этих облаков. Весьма важной характеристикой химических свойств элемента, определяющей его тенденцию к химическому взаимодействию, является способность атомов данного элемента превращаться в положительно и отрицательно заряженные ионы. Ибо химическая реакция, сопровождаемая возникновением химической связи (ионной, например), есть результат взаимодействия электростатического притяжения и отталкивания между двумя противоположно заряженными частицами (ионами). Чем легче, следовательно, атомы данного элемента превращаются в ионы, тем они реакционноспособнее.

Как известно, для ряда элементов вычислены величины энергии ионизации, т. е. количество ее, затраченное на превращение атома в катион. Эти величины характеризуют восстановительную способность элементов (особенно металлов). Чем меньше энергия ионизации, тем активнее металл.

Однако у атомов ряда элементов (неметаллов) в химическом процессе проявляется противоположная тенденция, стремление скорее получать электроны, чем их терять и образовывать в результате этого отрицательные ионы. Это так называемое сродство к электрону. Для некоторых элементов установлены численные значения

величин сродства к электрону. Они характеризуют окислительную способность элементов (особенно неметаллов), т. е. служат мерой неметаллических свойств элементов. Чем больше сродство элемента к электрону, тем сильнее выражены его свойства как неметалла.

Энергия ионизации атома и сродство к электрону являются количественными характеристиками такого важнейшего химического свойства элемента, как его реакционная способность. Знание величины ионизационного потенциала и электронного сродства элементов позволяет предсказывать, атомы каких элементов могут брать электроны и у каких именно атомов элементов.

Чтобы установить, как перестроятся электронные оболочки двух атомов взаимодействующих элементов, необходимо учитывать обе величины. Ибо при реакции атомы, например, элемента А могут потерять по одному электрону и превратиться в положительно заряженные ионы, атомы же элемента В — присоединить по электрону и стать отрицательно заряженными ионами. Процесс перестройки электронных оболочек реагирующих между собой атомов элементов осуществляется, следовательно, в единстве двух противоположных действий — **отдачи** и **приобретения** электронов, количественно характеризуемых величинами соответственно ионизационного потенциала и сродством к электрону.

С точки зрения энергетической, как известно, в природе самопроизвольно протекают лишь те процессы, при которых уменьшается запас свободной энергии. В свете этого положения для того, чтобы атомы В отдали электроны, а атомы А их приобрели, необходимо, чтобы

$(E_B - I_A) > (E_A - I_B)$, где E_A и E_B — величины сродства к электрону атомов элементов соответственно А и В.

$E_A + I_A > E_B + I_B$, где I_A и I_B — энергия ионизации.

Между этими двумя величинами существует неразрывная связь. По Малликену, полусумма ионизационного потенциала элемента и его сродства к электрону выражает так называемую электроотрицательность данного элемента[1]. По определению М. Х. Карапетьянца и

[1] См.: «Труды МХТИ», вып. XXXIX, 1962, стр. 68.

С. И. Дракина, *«электроотрицательность характеризует стремление данного атома к присоединению электронов при образовании химической связи»*[1]. Иначе говоря, величина электроотрицательности выражает степень притяжения внешнего электрона атомом соответствующего элемента. Чем больше электроотрицательность элемента, тем более вероятно превращение его атомов в отрицательные ионы. (Концепция электроотрицательности применяется к атомам всех элементов.)

Существуют, как известно, специально составленные с помощью различных косвенных расчетов (например, Л. Полингом) шкалы электроотрицательностей элементов. Пользуясь подобной шкалой, исходя из относительных величин электроотрицательностей атомов элементов, вступающих в реакции, можно делать различные важные выводы. Так, например, можно определять примерную устойчивость, или прочность, химической связи. «Чем дальше отстоят два элемента один от другого по шкале электроотрицательности, тем связь между ними прочнее»[2]. Атомы элементов «с меньшей разницей в электроотрицательностях образуют более слабые связи»[3].

Пользуясь электроотрицательностью, можно предсказывать, какой будет характер химических связей — ионный или ковалентный. Чем больше разница в электроотрицательности между атомами данных двух элементов, тем вероятнее возможность реакции между ними, тем больше энергия реакции и тем вероятнее, что связи будут ионными. Это имеет место, например, между щелочными металлами и галоидами, когда валентные электроны атомов менее электроотрицательного элемента перетягиваются к более электроотрицательному и образуются ионы. И наоборот, можно предсказать, что атомы элементов с небольшой разницей в их электроотрицательности будут образовывать ковалентные связи. Полярность ковалентных связей, степень этой полярности также может быть указана на основе шкалы электроотрицательностей. Чем больше разница в электроотрицательности элементов, тем полярнее образуемая ими связь.

---

[1] М. Х. Карапетьянц и С. И. Дракин. Строение вещества, стр. 135—136.

[2] Л. Полинг. Общая химия, 1964, стр. 194.

[3] Там же, стр. 517.

Сравнивая величины электроотрицательности у элементов различных групп и периодов, можно установить, какой из элементов обладает более металлическими свойствами. Элемент с меньшей электроотрицательностью проявляет более металлические свойства, чем элемент с большей электроотрицательностью. Характерно, что электроотрицательность как свойство элемента также является периодической функцией заряда ядра.

Электроотрицательность — свойство, выражающее внутреннюю противоречивую природу атома, его основное противоречие — противоречие между отрицательно заряженным электроном и положительным ядром. Электроотрицательность есть единство двух противоположных величин — энергии отрыва (отталкивания) и энергии притяжения электрона данного атома. В величине электроотрицательности отражается соотношение этих двух противоположных тенденций: отрыва и притяжения. Характер соотношений между количественными значениями этих слагаемых, зависящий от природы атома элемента, выражается в величине его электроотрицательности. Поэтому атому каждого элемента присуще свое значение электроотрицательности. «Было найдено, что для большого числа элементов величина электроотрицательности может служить *характеристикой* атома данного элемента и с достаточной степенью точности не зависит от его окружения в различных соединениях» [1].

Некоторые ученые, однако, особо подчеркивают, что элементу, строго говоря, «нельзя приписать постоянную электроотрицательность. Она зависит от того, в составе какого конкретного соединения мы рассматриваем его атом, в окружении атомов каких элементов он находится» [2]. Но и они приходят к выводу, что, «несмотря на это, понятие электроотрицательности является полезным для объяснения многих свойств химических связей» [3].

Величина разности электроотрицательностей атомов двух элементов, образующих химическую связь в молекуле, выражает степень противоположности между этими атомами. Иначе говоря, величина разностей электро-

---

[1] Р. Бьюб. Фотопроводимость твердых тел. ИЛ, 1962, стр. 34 (курсив мой. — *Н. Б.*).

[2] М. Х. Карапетьянц и С. И. Дракин. Строение вещества, стр. 136—137.

[3] Там же.

отрицательностей определяет тип связи, прочность ее, все промежуточные состояния от чисто полярной (ионной) до неполярной (ковалентной). Естественно, что все это связано с соответствующим изменением строения, свойств, реакционной способности образованной молекулы вещества, с природой присущего ей противоречия.

Диалектика межатомной и межмолекулярной связи

С позиций коренного положения диалектики о том, что каждое явление есть единство сторон с различными тенденциями развития, есть «сумма и единство противоположностей», следует подходить и к такому явлению, как химическая связь. Обычно при рассмотрении основных типов химической связи упор преимущественно делается на силы притяжения как на необходимое первоначальное (исходное) условие возникновения связи. Но знание строения веществ говорит о наличии в любом материальном образовании и противоположных сил — *сил отталкивания*[1].

Если бы между частицами, образующими структуру материального образования, действовали только силы притяжения, то в кристаллах твердых веществ частицы не могли бы занимать устойчивое положение, так как было бы исключено существование пространственной, кристаллической решетки определенной формы. В жидкостях точно так же нельзя было бы обнаружить присущую многим из них «упорядоченную» структуру. Уже сам факт существования межатомных расстояний, являющихся одной из наиболее важных структурных характеристик вещества, факт пространственного расположения атомов в молекулах, радикалах и кристаллах, изучаемых стереохимией, кристаллохимией, указывает не только на наличие сил притяжения и отталкивания, но и на определенное равновесие между ними.

Силы отталкивания, возникающие между двумя взаимодействующими атомами, суть следствие самой объективной структуры атомов элементов, состоящих из двух родов разноименно заряженных частиц. Эти силы обусловлены отталкиванием ядер атомов, несущих положительные заряды, отталкиванием электронов и сопротивлением, которое оказывают электронные орбиты атомов

---

[1] См.: Я. К. Сыркин и М. Е. Дяткина. Химическая связь и строение молекул, стр. 89—90.

их деформации, имеющей место при сближении. Величина сил отталкивания зависит от экранировки ядер окружающими их электронами и возрастает при увеличении числа электронных оболочек взаимодействующих атомов. Силы отталкивания экспоненциально убывают с увеличением межъядерного расстояния.

При образовании молекулы в результате действия сил притяжения сближение атомов на некотором расстоянии приостанавливается вследствие возникновения сил отталкивания. На определенном расстоянии ядер друг от друга сила отталкивания будет равна силе притяжения, т. е. действие их уравновешивается. Подобное равновесие означает, что система пришла в стабильное состояние, образовалась устойчивая химическая связь.

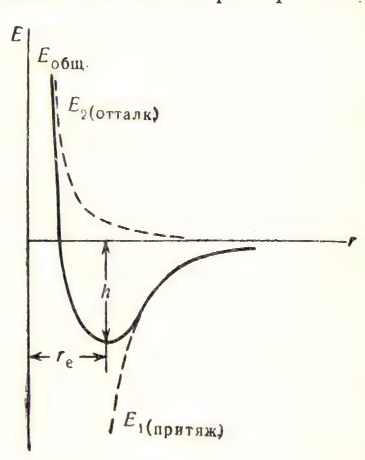


Рис. 8.

Известно, что с энергетической точки зрения необходимым условием для образования химического соединения, сопровождающегося возникновением химических связей, является стремление системы перейти в энергетически выгодное состояние, т. е. к минимуму потенциальной энергии. Иначе — образование соединения возможно в том случае, когда при сближении атомов происходит выигрыш энергии. Этим обеспечивается устойчивость получающегося химического соединения. Более устойчивым оказывается то, при образовании которого выигрыш энергии был максимальным.

Энергия взаимодействия, например ионов в ионной молекуле NaCl, складывается из двух величин:

$$E = E_1 + E_2,$$

где E_1 — отвечает силе притяжения,

E_2 — отвечает силе отталкивания. На графике (см. рис. 8) E_1 и E_2 представлены кривыми. Сложение этих двух кривых, выражающих величины сил притяжения и

отталкивания, дает кривую $E_{общ}$, отвечающую полной потенциальной энергии ионной молекулы.

Кривая $E_{общ}$ при некотором определенном расстоянии r_e (равновесное состояние) имеет минимум (h), отвечающий положению равновесия сил притяжения и отталкивания, т. е. при этом имеет место стабильное существование молекулы. При r_e величина $E_{общ}$ быстро растет, переходя через нуль в область положительных значений. Это соответствует преобладанию сил отталкивания, что ведет к диссоциации молекулы [1].

Вид кривой изменения потенциальной энергии, внутримолекулярного взаимодействия (ионов в ионной молекуле NaCl, а также, например, в ковалентной молекуле H_2) является общим для всех видов химического взаимодействия. Кривые незначительно отличаются лишь величинами некоторых параметров. Таким образом, единство и определенное взаимодействие между противоположностями обусловливает существование того или иного типа химической связи, возникновение ее и, следовательно, образование химического соединения.

Кроме межатомного, внутримолекулярного взаимодействия, обусловленного действием рассмотренных химических (валентных) сил, существует взаимодействие между незаряженными молекулами вещества. Оно вызывается также действием сил притяжения и отталкивания. Межмолекулярное притяжение, обусловливаемое силами Ван-дер-Ваальса, представляет собой одно из всеобщих явлений природы. Оно свойственно всем веществам и проявляется в газо- и парообразных, жидком и твердом состояниях. Силы Ван-дер-Ваальса действуют как между однородными молекулами данного вещества, так и между разнообразными молекулами различных веществ. Хотя эти силы по сравнению с химическими и невелики, они все же способны обеспечивать довольно прочные связи. Это, в частности, наблюдается в молекулярных кристаллах и жидкостях, в целом ряде поверхностных явлений (адсорбция и т. д.).

Ван-дер-ваальсовы силы межмолекулярного взаимодействия имеют для химии большое значение. От величины сил этого взаимодействия зависят в известной сте-

---

[1] См.: В. Н. Кондратьев. Структура атомов и молекул. М., 1959, стр. 276.

пени скорость химической реакции, химическая прочность материалов, прочность лакокрасочных и других покрытий, скорость растворения и кристаллизации и т. д. Для понимания структуры и свойств вещества чрезвычайно важно знать не только природу и существо химической, внутримолекулярной связи, но и природу ван-дер-ваальсовых сил, а также взаимосвязь внутри- и межмолекулярных взаимодействий между собой.

Энергия притяжения, определяющая ван-дер-ваальсовы силы, в общем случае слагается из трех составляющих: ориентационного взаимодействия, индукционного и дисперсионного. Преобладающая роль того или иного слагаемого зависит от строения молекулы. Молекула в целом нейтральна. Но распределение зарядов внутри нее может быть асимметричным, т. е. молекула обладает определенным дипольным моментом. Подобные полярные молекулы в зависимости от того, как они ориентированы друг относительно друга, должны притягиваться или отталкиваться.

Уменьшение потенциальной энергии системы, т. е. выигрыш в энергии, а значит, и сцепление подобных молекул происходит тогда, когда молекулы так ориентируются друг относительно друга, что положительный конец диполя одной молекулы сближается с отрицательным концом диполя другой. Так как одноименные полюса находятся друг от друга дальше, чем разноименные, то взаимное притяжение лишь частично компенсируется взаимным отталкиванием. В результате притяжение превалирует над отталкиванием; притяжение тем сильнее, чем полярнее молекулы. Полярная и неполярная молекулы вещества также могут притягиваться друг к другу вследствие индукционного взаимодействия. Неполярные молекулы под действием внешнего электрического поля соседних частиц (молекул, ионов) поляризуются. Поляризация молекул, возникновение индуцированного дипольного момента приводит к возникновению поляризационных сил притяжения.

Ориентационные и индукционные взаимодействия составляют, однако, лишь часть межмолекулярного ван-дер-ваальсового притяжения. Ван-дер-ваальсовы силы действуют и между неполярными молекулами тогда, когда не наблюдается ориентационного и индукционного взаимодействия, например между атомами инертных га-

зов, что подтверждается образованием ими молекулярных соединений с водой, фенолом и другими веществами, а также фактом конденсации и затвердевания инертных газов. Это показывает существование еще одной составляющей межмолекулярных сил. Характер этого последнего, наиболее универсального типа, так называемого дисперсионного межмолекулярного взаимодействия, которое существует между частицами любого вещества и бывает особенно велико для всех веществ, кроме полярных, был раскрыт и объяснен лишь на основе квантовой механики. Опыт и квантовая теория показали, что составляющие атом частицы находятся в непрерывном движении, не прекращающемся и при температурах, весьма близких к абсолютному нулю. В процессе движения электронов распределение зарядов внутри атома становится несимметричным. Это сопровождается возникновением мгновенных диполей. Их взаимодействие при сближении молекул и обусловливает притяжение, возникновение третьей составляющей ван-дер-ваальсовой силы межмолекулярного притяжения.

Известно, что наиболее велики дисперсионные силы для неполярных молекул, ориентационные силы наиболее характерны для сильно полярных молекул, а индукционные силы наименее значительны. Все эти составляющие силы межмолекулярного взаимодействия Ван-дер-Ваальса по своему происхождению едины. Они электростатического характера. «Разделение химических и ван-дер-ваальсовых сил в некоторой степени является условным, ибо, строго говоря, в основе тех и других лежат одни и те же электрические силы взаимодействия электронов и ядер» [1].

Однако межмолекулярные силы существенно отличаются от химических. Если последние характеризуются насыщенностью, большими энергетическими эффектами и специфичностью, то силы Ван-дер-Ваальса, проявляющиеся на значительно больших расстояниях, характеризуются отсутствием насыщаемости, специфичности и небольшими энергиями. Так, количество теплоты, выделяемое при конденсации пара в жидкость и характеризующее энергию взаимодействия между молекулами пара,

---

[1] М. Г. Веселов. Элементарная квантовая теория атомов и молекул. М., 1962, стр. 179.

равно нескольким *ккал/моль*; для йодистого водорода, например, — около 5 *ккал/моль*. Аналогичного порядка энергия межмолекулярных сил и для жидкости. Энергия же химических сил при радиусе их действия не более 4Å достигает величины 10—100 *ккал/моль*. Так, энергия связи H—J— более 70 *ккал/моль*. «Точный квантово-механический расчет должен дать энергию взаимодействия атомов как некоторую функцию межъядерных расстояний, справедливую при любых их значениях»[1].

Это справедливо и для энергии взаимодействия между молекулами, т. е. в случае образования и межмолекулярных сил. В области средних значений, соответствующих равновесным расстояниям стабильных образований, эта функция выражает химические силы, а на больших расстояниях — ван-дер-ваальсово притяжение. В случае, когда электронные оболочки молекул не перекрываются, что имеет место при достаточно большом расстоянии между ними (r), проявляется (преимущественное) действие сил притяжения. Величина их обратно пропорциональна межмолекулярному расстоянию в седьмой степени. В случае малых расстояний между молекулами, когда их электронные оболочки сильно перекрываются, т. е. когда электростатическое отталкивание ядер и электронов становится больше их взаимного притяжения, проявляется действие сил отталкивания.

Полная энергия взаимодействия между молекулами, так же как и в случае взаимодействия (химического) ионов в ионной молекуле, складывается из сил притяжения и сил отталкивания:

$$E_{общ} = E_{притяж} + E_{отталк}$$

Вычислена кривая изменения потенциальной энергии системы межмолекулярного взаимодействия (т. е. в случае сил Ван-дер-Ваальса).

Минимум *h* на суммарной кривой ($E_{общ}$) соответствует энергии межмолекулярного взаимодействия и равновесному расстоянию r_e между молекулами. r_e отвечает устойчивому равновесию в пространственной структуре твердого или жидкого тела и вместе с массой частиц определяет плотность вещества. Своеобразие кривых межмолекулярного притяжения и отталкивания объяс-

---

[1] М. Г. Веселов. Элементарная квантовая теория атомов и молекул. М., 1962, стр. 179.

няется тем, что энергия отталкивания обратно пропорциональна приблизительно двенадцатой степени расстояния r между центрами молекул. В то же время энергия притяжения обратно пропорциональна седьмой степени от r. Данные кривые схожи с кривыми, характеризующими зависимость энергии межионного и межатомного взаимодействия (в ионной молекуле NaCl и в молекуле H_2 с ковалентной связью) от межионного и межатомного расстояния. Однако графики количественно сильно различаются, так как различаются масштабы значений E и r и выражения зависимости $К_{прит}$ и $E_{отталк}$ от r[1] (см. рис. 9).

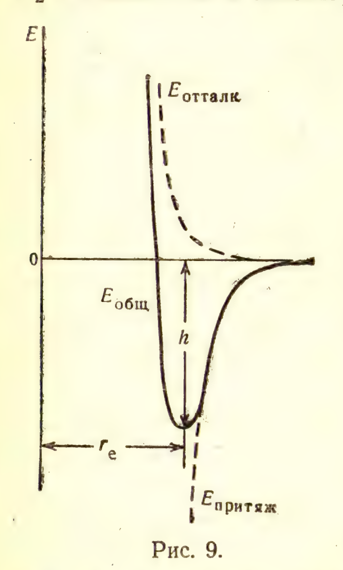


Рис. 9.

Итак, сущностью любого внутримолекулярного и межмолекулярного взаимодействия, сопровождающегося образованием связи, являются притяжение и отталкивание, вызванные электрическими силами взаимодействия электронов и ядер. Взаимодействие этих противоположностей в принципе не зависит от природы связей: являются ли они чисто химическими или осуществляются силами Ван-дер-Ваальса́. Ибо в обоих случаях действует и разрешается одно и то же противоречие. Это общее противоречие, по словам Ф. Энгельса, составляет «сущность материи». В этом противоречии «притяжение и отталкивание столь же неотделимы друг от друга, как положительное и отрицательное, и поэтому уже на основании самой диалектики можно предсказать, что истинная теория материи должна отвести отталкиванию такое же важное место, как и притяжению, и что теория материи, основывающая-

[1] См.: М. Х. Карапетьянц, С. И. Дракин. Строение вещества, стр. 230.

ся только на притяжении, ложна, недостаточна, половинчата»[1].

Но между этими двумя родами связи существует качественное различие. Оно прямо вытекает из всеобщего закона диалектики о переходе количества в качество. Действительно, как следует из вышеприведенных графиков, образование межмолекулярных связей сопровождается значительно меньшим (количественно) изменением энергии и изменением (большим) величин равновесных расстояний.

Следовательно, внутри- и межмолекулярные связи возникают на различных *количественных* уровнях. Это обусловливает и их *качественное* отличие. Но эти связи не разделены непроходимой стеной. Между ними существует определенная диалектика. Как известно, химические силы между взаимодействующими нейтральными атомами или молекулами «убывают с расстоянием экспоненциально и потому на расстояниях R порядка от 3 до 6 Å и далее, в зависимости от размеров электронной оболочки, практически не играют никакой роли»[2], т. е. образования новых молекул стабильных химических веществ не происходит. На подобных расстояниях между молекулами появляются уже силы взаимодействия другой природы. Они значительно слабее валентных (химических) сил, убывают уже с увеличением расстояния пропорционально $\frac{1}{R^7}$. Это и есть силы Ван-дер-Ваальса.

Итак, *изменение межмолекулярных расстояний, т. е. количественного фактора, приводит к качественному изменению характера сил.* Отсюда вполне естественно описание различных видов связи единым математическим аппаратом. И это не случайно, ибо вытекает из единой природы химических и ван-дер-ваальсовых сил, из общего типа присущего им противоречия между силами притяжения и силами отталкивания. Разрешение этого противоречия приводит и в том и в другом случае к образованию системы с минимальной потенциальной энергией. Но в одном случае (химические силы) это будет образование стабильной частицы вещества (молекулы),

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 558—559.

[2] М. Г. Веселов. Элементарная квантовая теория атомов и молекул, стр. 178.

а в другом (ван-дер-ваальсовые силы) — агрегата частиц.

В этом раскрывается не только различие, но и единство химических и ван-дер-ваальсовых сил, проявление и действие в их природе и взаимоотношениях законов диалектики: единства и борьбы противоположностей, перехода количества в качество.

Глава пятая

КАЧЕСТВО И КОЛИЧЕСТВО В ХИМИИ

Движение материи, «изменение вообще» есть результат действия и развития противоречий. Закон единства и борьбы противоположностей — это главный закон материалистической диалектики. Выражение «материя — причина самой себя» в этом плане отражает лишь тот факт, что внутренне присущие ей различные противоречия обусловливают различные формы движения, последние являются источником новых противоречий и так без конца. Поэтому, как указывал В. И. Ленин, раскрытие противоречий, присущих телам, явлениям, есть «ключ» к выяснению сущности и применению закона перехода количества в качество и обратно.

Действительно, разрешение противоречия означает рождение нового качества, которому с самого начала свойственны свои противоречия. Значит, внутренним содержанием перехода старого качества в новое, или скачка, является борьба противоположностей. Исход этой борьбы, ее кульминационный пункт, т. е. разрешение противоречия, зависит от глубины противоречия. Последнее разрешается, когда обострение между составляющими его противоположностями достигает необходимой остроты, когда одна из противоположностей становится преобладающей и подавляет другую. Механизм перехода количества в качество, уничтожение старого и возникновение нового и раскрывается в другом законе диалектики — перехода количественных изменений в качественные.

Объективной основой этого закона является, во-первых, общее положение о бесконечном развитии материального мира, о качественной и количественной неисчерпаемости материи; во-вторых, наличие у всех тел и явле-

ний, независимо от их масштабов и специфики, качественной и количественной сторон. Действительно, невозможно представить, например, лист железа (качество), не имеющий толщины (количество), химическую реакцию (качество) без некоторого числа участвующих веществ, без определенной скорости ее протекания, поглощения или выделения теплоты (количество) и т. д. Таким образом, качество и количество — это не априорные, заранее данные формы рассудка, привнесенные человеком в природу, как полагал И. Кант, не понятия, существующие в отрыве от природы, в «лоне» абсолютного духа, как утверждал Г. Гегель, не фикции, порожденные языком, как утверждают семантики; это свойства, присущие всем без исключения телам и явлениям материального мира. «Существуют не качества, а только вещи, *обладающие* качествами»[1]. Закон перехода количественных изменений в качественные и обратно выражает взаимосвязь между этими двумя объективными сторонами тел и явлений, раскрывает их единство, диалектику отношений в процессе развития.

Химия особенно тесно связана с понятиями качества и количества, с философской разработкой диалектики их отношений. На данные химии при обосновании этих категорий опирался еще Г. Гегель. Не случайно Ф. Энгельс подчеркивал, что область, в которой открытый Гегелем закон природы празднует свои величайшие триумфы, есть область химии.

Это естественно, ибо самим предметом химической науки является исследование именно тех явлений, при которых происходит изменение качества веществ, т. е. процессов их превращений. В отличие от механики, астрономии и геометрии, возникших в результате потребностей исследовать количественные стороны объектов и процессов, химия с момента своего зарождения на протяжении веков занималась наблюдением качественных изменений. Лишь сравнительно недавно, с середины XVIII в., с введением весов начинается в химии эпоха количественных измерений.

Химия, как никакая другая наука, всем своим богатейшим эмпирическим материалом могла наилучшим образом показать, как осуществляются качественные из-

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 547.

менения, раскрыть управляющие ими общие закономерности. Именно поэтому Ф. Энгельс рассматривал химию как один из важнейших естественнонаучных источников материалистической диалектики. Он наглядно показал теснейшую взаимосвязь и взаимообусловленность философии и химии, когда, опираясь на многочисленные факты химии, с одной стороны, раскрыл механизм действия закона перехода количества в качество, с другой, — опираясь на этот закон, дал определение самого предмета химии.

Качество и свойство, количество, мера

Категория «качество» характеризует момент относительной устойчивости вещи, явления. В зависимости от степени и характера организации последних понятие «качество» применяется к различным видам и формам движения материи, к различным состояниям и этапам развития тел и явлений. Качество выступает как такая присущая телам и явлениям определенность, такое органическое единство свойств, признаков и особенностей, которое показывает, чем является предмет или явление.

Качества веществ и процессов неразрывно связаны с их сущностью. Изменения качества означают коренное изменение вещества. Познать качество химического соединения, химической реакции — это значит определить их, т. е. четко отграничить по вполне определенным, устойчивым признакам, свойствам от других веществ и процессов. Окислительно-восстановительные реакции отличаются, например, от других реакций прежде всего тем, что в процессе их происходит изменение валентности веществ реагентов.

Определение качества вещества или реакций — одна из важнейших задач химии, ибо, лишь установив коренные особенности вещества, его связь и отличие от других, можно понять закономерности его структуры и свойств, уловить устойчивые, повторяющиеся взаимосвязи, присущие как веществам данного качества, например кислотам, так и веществам разных качеств, например кислотам и основаниям.

Качества химических веществ познаются в процессе химических реакций, т. е. при определенном взаимодействии их с другими веществами. Так, при реакции $ZnS+2HCl=ZnCl_2+H_2S$ выясняются такие особенности качества цинка, как валентность, положение в ряду на-

пряжений, отношение к неметаллам и т. д. Качество серной кислоты определяется, например, при ее реакции с металлами (окислитель), щелочами и основаниями (нейтрализация и солеобразование), при растворении в воде (экзотермичность, образование гидратов, диссоциация на ионы), при различных температурных воздействиях (переход из жидкого состояния в твердое, кристаллизация).

Таким образом, познание вещества идет через познание его свойств. Свойство — чрезвычайно важное понятие в химии. Оно характеризует какую-либо одну сторону качества вещества, химического процесса, обусловливающую их сходство или отличие от других веществ и процессов. Свойства вещества выявляются во взаимодействии его с другими веществами: какое свойство конкретно обнаруживает данное вещество, зависит от качества того вещества, с которым оно вступает в реакцию. Так, металлы при соединении их с кислородом обнаруживают свойство образовывать окислы, а при взаимодействиях с кислотами — соли.

Физико-химические свойства вещества: удельный вес, температура кипения, плавления, электропроводность, растворимость, реакционноспособность — имеют при одних и тех же условиях постоянные значения. Отдельные свойства тел при изменении условий могут меняться весьма существенно, вплоть до полного исчезновения. Так, при высокой температуре совершается процесс перекристаллизации железа. При этом железо теряет свойство намагничиваться при взаимодействии с магнитом, хотя его молекулярный состав остается тем же. Резина при низких температурах утрачивает свойство эластичности и становится хрупкой. Жидкий гелий при температурах, близких к абсолютному нулю, теряет свойство вязкости и приобретает новое свойство — сверхтекучесть.

Но в подобных случаях железо, резина, гелий остаются самими собой до тех пор, пока не изменится их коренное свойство, внутренняя определенность ядер и электронных оболочек атомов этих элементов, структура их молекул. Бывает и так, что одинаковыми свойствами обладают качественно различные тела и явления. Например, как серная (содержащая кислород), так и соляная (бескислородная) кислоты растворяют многие металлы, образуют соли при реакции нейтрализации, всту-

пают в реакцию обмена и т. д. Даже едкий натр и разбавленная азотная кислота одинаково растворяют алюминий, хотя принадлежат к различным классам химических соединений. Следовательно, целостность вещи, ее качество выражается не в одном свойстве, а в комплексе свойств. Критерием отличия одного качества от другого является «наличие специфических, существенных отношений или законов, определяющих структуры различных вещей» [1]. При определении качества вещества в органической химии исходят из теории химического строения.

Химические вещества и явления обладают также количественной определенностью. Количество определяет химические вещества (явления) со стороны их величины (например, числа атомов, входящих в состав молекулы), объема, степени или уровня развития (структурная сложность), интенсивности изменения или проявления свойств (окраски, запаха, кислотности, степени диссоциации и т. д.). Под количеством понимают объективную определенность «качественно однородных явлений, или качество в его пространственно-временном аспекте» [2]. Действительно, поскольку все явления природы и общества существуют в пространстве и изменяются во времени, постольку их можно рассматривать как качественно тождественные и различать лишь в количественном плане. Количество является как бы внутренней градацией качества.

Итак, определенное качество всегда связано с определенным количеством. Иначе говоря, качество и количество как две стороны одного и того же тела, явления находятся в неразрывном единстве. Но между качеством и количеством существует не только единство, но и известная противоположность. Если качество позволяет выделять, отличать различные вещества (явления) друг от друга (кислота, соль, основание и т. д.), то количественная сторона позволяет сравнивать, соотносить, измерять однопорядковые, обладающие известной качественной общностью, химические соединения и процессы (одно-, двух- и трехатомные спирты, одно- и двухосновные кислоты и т. д.). Значит, различия между веществами, их свойствами, в известной степени подобными, как, напри-

---

[1] «Ленин об элементах диалектики». М., 1965, стр. 300.
[2] «Философская энциклопедия», т. 2, стр. 552.

мер, члены одного и того же гомологического ряда, носят в первую очередь количественный характер.

Если изменение качества веществ (явлений) приводит к их превращению в другие вещества (явления), то изменения в известных более или менее широких пределах их количественных определенностей с этим не связаны. Следовательно, качество химических веществ (явлений) по сравнению с количественной их характеристикой более устойчиво, стабильно. Совершенно очевидно, что речь идет об относительной стабильности, иначе было бы невозможно развитие, возникновение нового качества. В отношениях количества и качества химических веществ конкретизируется в известном смысле противоречие между тенденциями к сохранению его состояния и изменению.

Таким образом, количество, в отличие от качества, не так тесно связано с самой природой вещества (явления). Изменение количества приводит к уничтожению старого и возникновению нового качества не сразу, а лишь при достижении вполне определенной для каждого вещества (явления) границы. Эта особенность количественных изменений свидетельствует о некоторой их независимости, самостоятельности по отношению к самой природе тел и явлений. Именно поэтому математика может изучать количественные отношения, отвлекаясь от частной, конкретной природы тел и явлений.

Взаимосвязь и зависимость, единство и противоположность качества и количества находят свое отражение в понятии «мера», выражающем соотношение количества и качества в веществе (явлении). Каждое вещество (явление) имеет свою, лишь ему присущую меру, поскольку данная конкретная качественная особенность всегда сочетается только со строго определенным конкретным количеством. Так, к качественной стороне атома относятся все специфически существенные химические свойства данного элемента, а к количественной — число валентности, величина заряда ядра, объем атома.

Когда количественные изменения превосходят пределы меры, наступает качественное преобразование веществ (явлений). Так, мерой для жидкого состояния воды является величина температуры в нижнем пределе 0°, в верхнем — +100° при нормальном атмосферном давлении. При температуре 0° вода превращается в лед, а при

температуре $+100°$ — в пар. В интервале от $0°$ до $+100°$ количественные изменения температуры не вызывают каких-либо заметных изменений жидкой воды. Основные, коренные свойства воды, т. е. ее качество, изменяются лишь при величине $t > 600°$, когда вода распадается на составные части (H_2 и O_2). Таким образом, мерой существования воды как данной качественной определенности является количественная величина $t > 600°$. Итак, единство качественной и количественной сторон вещества (явления) в пределах меры в известной степени определяет его сущность. Нарушение меры приводит к возникновению новой сущности, характеризуемой новой мерой.

Развитие материального мира представляет собой единую и бесконечную цепь перехода от одной меры к другой (причем движение в нашей области Вселенной идет от низшего к высшему). Любой из многочисленных гомологических рядов органических соединений (предельных углеводородов, спиртов, кислот и т. д.) является образцом такой конкретной линии мер, где каждый член ряда есть качественная ступень, узел, новая мера в развитии химических веществ данного класса.

Особенности проявления закона в химии

Характеризуя закон перехода количества в качество как всеобщий закон развития, Ф. Энгельс писал: «В природе качественные изменения — точно определенным для каждого отдельного случая способом — могут происходить лишь путем количественного прибавления либо количественного убавления материи или движения (так называемой энергии)»[1]. Действие этого закона в химии проявляется в особых формах. Сущность химических реакций выражается, как известно, в перераспределении химических связей, в перестройке молекулярных или надмолекулярных структур. При этом образуются новые молекулы и частицы и, следовательно, новые вещества. Опыт показал, что образование качественно различных веществ есть следствие изменения химического строения, зачастую и состава их молекул. На это обращал внимание и Ф. Энгельс, когда, говоря о качественных различиях в природе, отмечал, что все они основываются, в частности, на «различном химическом составе».

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 385.

Теория химического строения позволила внести ясность в процессы происхождения и превращения веществ. Она показала, что атомы, соединяясь в молекулы, взаимно влияют друг на друга и потому в известной мере изменяются. Поэтому молекула не есть простая сумма атомов, как это мыслили химики-механисты; она представляет собой качественно особое образование. Раскрытие сущности явлений изомерии с позиции этой теории показало также, что при одном и том же числе атомов различных элементов (т. е. при одинаковом составе) могут образовываться соединения, отличные по свойствам. Оказалось, что причина этого лежит в различном порядке связи атомов. Значит, образование новых веществ и изменение их свойств есть результат не только изменения состава, количественного прибавления или убавления атомов в молекулах, но и структуры молекул, порядка связи атомов. Сущность химических реакций, следовательно, заключается в изменении как состава, так и структуры молекул. Поэтому Ф. Энгельс и рассматривает явление изомерии как пример качественного превращения.

Квантовая механика и электронные представления подтвердили основное положение теории Бутлерова. Строение является коренным свойством молекулы, определяющим все другие ее свойства и особенности. Различный порядок связи и расположение в пространстве одних и тех же атомов и атомных групп (что имеет место у изомеров) связаны с изменением расстояний между ними, числовых значений длин вновь возникших связей и, естественно, с их энергией и дипольными моментами, не говоря уже об изменении в большинстве случаев вида связей между атомами. Все эти и другие величины (степень поляризуемости связей, размеры валентных углов и т. д.) характеризуют тонкое строение органических веществ, специфику строения молекулы. Это и обусловливает качественные особенности структурной и пространственной (стерео) изомерии различных видов: скелета, положения, *цис-*, *транс-*изомеров, оптических изомеров.

Строение в большинстве случаев по сравнению с составом является решающим фактором в определении свойств вещества. Например, простые эфиры и одноатомные спирты имеют одинаковый состав, выражаемый формулой C_2H_6O, одно и то же количество атомов C, H и O

в молекуле. Но это качественно разные соединения, и причина этого кроется в их строении.

$$\begin{array}{ccc} & H & H \\ & | & | \\ H-O- & C- & C-H \\ & | & | \\ & H & H \end{array} \qquad \begin{array}{ccc} & H & & H \\ & | & & | \\ H- & C- & O- & C-H \\ & | & & | \\ & H & & H \end{array}$$

В молекуле этилового спирта содержится гидроксильная группа OH. Водород этой функциональной группы резко отличается по своим свойствам от других атомов водорода, непосредственно соединенных с углеродом. Он подвижен и легко замещается щелочным металлом. В диметиловом эфире, наоборот, все шесть атомов водорода равноценны. Они обладают одинаковыми свойствами, весьма устойчивы к действию щелочей. Особенностью структуры в этом случае является то, что у диметилового эфира — шесть одинаковых связей H — C и две связи C — O, у этилового спирта — пять связей C — H, одна C — C, одна C — O. Это обусловливает и различные распределения электронных плотностей (что также является структурной характеристикой) в общих электронных облаках молекул рассматриваемых веществ.

Сколь велико значение строения для определения свойств вещества, видно из явления таутомерии. Это, как известно, особый случай широко распространенной в органической химии равновесно-динамической изомерии. Она имеет место, когда два изомера, различающиеся по функциональным группам, легко переходят друг в друга до достижения равновесия. Например, таутомерия ацетоуксусного эфира

$$CH_3-\underset{}{\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}}-CH_2COOC_2H_5 \rightleftarrows CH_3-\underset{\underset{\displaystyle OH}{|}}{C}=CHCOOC_2H_5$$

связана с легким перемещением двойной связи и иона водорода. В данном случае происходит переход от кето-формы вещества $-\underset{\underset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-$ с величиной длины ординарной связи C — C, равной 1,54 Å, к енольной форме $-\underset{\underset{\displaystyle OH}{|}}{C}=CH_2$ с величиной длины двойной связи C=C, равной 1,34 Å.

Эти структурные изменения (вызванные изменениями длин ординарной и двойной углерод-углеродной связей в процессе обратимого равновесия) приводят к качественным изменениям, выражающимся в различии химических свойств кето- и енольной формы. Действительно, для оксикротонового эфира (енольная форма) характерны реакции для ненасыщенных спиртов — «енолов», образование сложных эфиров (β-хлоркротонового) β-аминокротоновой кислоты; для ацетоуксусного эфира (кетоформа) — взаимодействия с гидроксиламином, фенилгидразином, т. е. реакции, типичные для карбонильной группы (C=O).

Анализируя случаи, когда один из двух изомеров, имеющих одинаковые химические и физические свойства, вращает плоскость поляризации света влево (*l* или минус-форма), а другой — на тот же угол вправо (*d* или плюс-форма), Ле Бель и Вант-Гофф независимо друг от друга еще в 1874 г. пришли к заключению, что это явление так называемой оптической изомерии, и обусловлено оно различным пространственным строением молекул обеих оптических антиподов.

Особенно тесная связь между строением и свойствами веществ обнаруживается у высокомолекулярных соединений. Этот уже достаточно установленный и подтвержденный практикой факт лежит в основе синтеза полимеров. «Свойства полимера зависят от химической структуры элементарных звеньев, количества звеньев в макромолекулах и строения макромолекул»[1]. Видные советские химики В. А. Каргин, В. В. Коршак, К. А. Андрианов, М. В. Волькенштейн, А. Е. Арбузов и другие успешно доказывают, что заданных химических свойств можно достичь не только в результате соответствующих изменений химического состава, но и при неизменности последнего, в результате структурной перестройки тех же мономеров в молекуле (цепи) полимера. Усилия этих ученых направлены на разработку и создание такой теории, руководствуясь которой можно было бы на основе знания химического строения заранее предсказать различные свойства полимера и практически синтезировать его.

---

[1] И. П. Лосев, Е. Б. Тростянская. Химия синтетических полимеров. М., 1960, стр. 9.

Общеизвестна специфика проявления закона перехода количества в качество в неорганической химии. Она исследована и раскрыта в периодическом законе, в законах стехиометрии, на явлениях полиморфизма, на примерах многих важнейших реакций.

Итак, в зависимости от строения, определенного пространственного размещения составных частей, порядка и характера связи между ними проявляются в молекулах вещества определенные химические качества и свойства. Значит, не только изменения химического состава, что само собой очевидно, но и изменение строения связаны в химии с изменением свойств, качеств веществ. В этом заключается особенность, специфика проявления в химии закона перехода количественных изменений в качественные и обратно.

Различные элементы строения (дли́ны и степень поляризации связей, величины валентных углов, дипольных моментов и т. д.), как это показали квантово-механические расчеты, электронная теория валентности и химической связи, связаны и с количественной определенностью молекулы вещества.

О «скачках» в химии

Химия занимается изучением таких материальных объектов, которые, как известно, представляют собой химические соединения. Это качество материальных объектов — быть химическим веществом, соединением — выражается через многочисленные конкретные свойства. Оно проявляется в процессах различных взаимодействий, реакций. Отсюда становится понятным определение академиком Н. Н. Семеновым химии как науки о химических процессах. Действительно, лишь в ходе химических процессов, реакций происходит познание качеств веществ, механизма и закономерностей их превращений. Знание этого и позволяет овладевать тайнами превращения веществ, проводить их направленно, целеустремленно.

Таким образом, химическое взаимодействие, реакция есть основной метод определения качеств веществ. При этом важную роль играет диалектика качественных и количественных отношений, ибо любая химическая реакция, как мы видели, представляет собой неразрывное единство, взаимосвязь и взаимообусловленность этих двух сторон в рамках определенной меры. Что же отно-

сится к качественной и количественной определенности химической реакции?

Качество определяется спецификой, свойствами исходных реагентов и конечных продуктов реакции простых веществ или соединений, их свойствами (кислоты, основания, соли, металлы, неметаллы и т. д.). Качество выражается характером реакции (нейтрализация, полимеризация, нитрование, галоидирование и т. д.). К качественной стороне можно отнести и такие условия осуществления реакции, как среда, катализатор, чистота реагентов. Разумеется, все эти вещества, реакции и явления, выражающие в рассматриваемом нами плане качественную сторону химического процесса как общего, сами по себе как конкретные, единичные явления имеют свою качественную и количественную определенность.

К количественной стороне реакции относятся, например, число исходных и полученных молекул веществ или их объемов, положительная или отрицательная величина теплового эффекта реакции, величины (температуры, давления, концентрации и т. д.), при которых совершается данное химическое превращение. Количественную сторону реакции выражает, например, концентрация реагирующих веществ, величина константы равновесия, показывающая, какая часть исходной смеси превращается в продукт, константа скорости реакции, характеризующая быстроту образования конечных продуктов во времени, и т. д. Не трудно заметить, что каждая качественная сторона реакции имеет свою строгую количественную характеристику, и наоборот.

Рассмотрим, например, такую типичную реакцию, как синтез аммиака из азота и водорода $N_2+3H_2 \rightleftarrows 2NH_3+Q$. Здесь к качественной стороне относятся: специфика реагентов (азота, водорода и аммиака) со всеми присущими им химическими свойствами, необходимость газообразного исходного состояния азота и водорода для протекания данной реакции, обязательность начального подогрева исходной смеси, после чего начавшаяся реакция сама сопровождается таким выделением тепла (экзотермическая), что дальше протекает автотермично и даже требует отвода избытка тепла. Для ускорения этой реакции требуется также качественно особый катализатор (промотированное железо). С количественной стороны реакция синтеза аммиака характеризуется уменьшением объ-

ема полученного продукта вдвое, т. е. из четырех исходных молекул — $3H_2$ и N_2 — получаются лишь две молекулы аммиака. При этой реакции выделяется 10 980 *ккал* тепла на моль аммиака. Для начала реакции необходим подогрев ее до 450° С и давление от 300 до 1000 *атм.*

Эти качественные и количественные характеристики присущи только реакции синтеза аммиака. Именно эти, а не какие-либо другие качественные или количественные определенности отличают синтез аммиака от всех других реакций. Действительно, если заменить, например, в исходной смеси азот на хлор, т. е. взять качественно другой исходный реагент, то произойдет совершенно другая реакция и получатся другие конечные продукты. Однако это внешний, достаточно очевидный результат. Главное заключается в том, что, руководствуясь существующим объективно единством качества и количества, можно контролировать процесс химических превращений, управлять ими.

Так, в технологическом процессе химик контролирует качество, оптимальный выход химического продукта через непосредственно измеряемые количественные показатели (температуру реакции, давление, концентрацию исходных веществ и т. д.), изменение которых будет точно говорить о тех или иных отклонениях в ходе процесса, об идущих побочных явлениях, которые необходимо выявить и устранить, чтобы обеспечить получение продукта нужного качества. Знание взаимоотношения качественной и количественной сторон химической реакции, их единства и соответствия — непременное условие практического осуществления технологического процесса, в основе которого лежит эта реакция.

Переход от одного качественного состояния к другому всегда совершается в виде скачка. Это объясняется тем, что единая, непрерывно и вечно развивающаяся материя проявляет себя как совокупность конкретных тел и явлений. Поэтому незаметный, происходящий без всякого перерыва постепенности переход от одного качественно специфического явления к другому невозможен. Формой такого перехода границ, отделяющих одно качество от другого, и является скачок.

Физика и химия полны примеров скачкообразного перехода тел и явлений из одних состояний и качеств в другие. Такой скачок наблюдается уже при изменении

агрегатных состояний веществ, т. е. в самых простых физических процессах, например, при переходе твердого тела в жидкость, жидкости в газ и обратно. Подобный скачок связан лишь с изменением структуры веществ. Но, по словам Д. И. Менделеева, «всего характернее скачки, переломы и пределы»[1] для химии. Химические превращения связаны с более глубокими, коренными изменениями веществ, с изменениями не только их структуры, но и состава. Поэтому всякая химическая реакция есть ярко выраженный переход от одного качества к другому. Скачкообразное образование любого химического соединения подтверждается и действующими при реакциях химическими законами постоянства состава, паев, кратных отношений. Вот почему химию называют наукой о скачкообразном изменении веществ.

Форма скачка при химических превращениях определяется прежде всего самой природой вещества: химическим составом, характером связи атомов и атомных групп в молекуле, т. е. строением, межмолекулярными связями и, наконец, агрегатным состоянием вещества в момент химической реакции. В химии, как нигде, ярко выступает зависимость протекания реакции от внешних условий. Поскольку скачок как форма перехода от одного качественного состояния к другому совершается в результате изменения количества, то разные условия, поразному влияя на интенсивность количественных изменений, соответственно ограничивают глубину и направленность качественных преобразований. Следовательно, характер скачка определяется как природой вещества, так и конкретными условиями, в которых он совершается. Любой скачок, как отмечал Ф. Энгельс, осуществляется «точно определенным для каждого отдельного случая способом»[2].

Каждое из многочисленных условий, в которых совершается скачок, оказывает свое особое воздействие на его характер. Это воздействие выражается в первую очередь в различном характере и длительности скачков, в их конечных результатах. Скачки условно делят на медленные, постепенные (многостадийные), и «мгновенные», одноактные. К числу последних относятся: переход от

[1] Д. И. Менделеев. Избр. соч., т. III, 1934, стр. 202—203.
[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч. т. 20, стр. 385.

элемента к элементу в периодической системе как результат количественного изменения заряда ядра на единицу; одноактное, «моментальное» изменение взрывчатых свойств продуктов нитрования толуола при последовательном («поштучном») введении нитрогрупп. Так, мононитротолуол, в отличие от толуола, горит, но не детонирует, динитротолуол — уже слабое взрывчатое вещество, тринитротолуол (тротил) — сильнейшее взрывчатое вещество.

Для медленного скачка характерен постепенный переход от одного качества к другому. При этом происходит уничтожение старого и накопление элементов нового через ряд промежуточных стадий. Подобный переход при всей его постепенности все же является скачком, решающим поворотом, ведущим к возникновениям нового качества. «При всей постепенности, переход от одной формы движения к другой (т. е. от одного качества к другому. — *Н. Б.*) всегда остается скачком, решающим поворотом»[1]. Постепенный скачок отличается главным образом характером перехода, а не длительностью; он может быть и относительно быстрым во времени. Пример этого — горение (цепной процесс) в отличие от других видов окисления (ржавления, гниения).

В химии чаще всего осуществляются комбинированные скачки, содержащие элементы обеих крайних форм. Так, процесс получения тротила из толуола в целом представляет собой скачок, прошедший три одноактные промежуточные ступени в виде последовательного введения трех нитрогрупп. Это пример того, когда одноактные мелкие скачки приводят к постепенному медленному переходу. Нередко мелкие скачкообразные количественные изменения (объясняющиеся прерывным атомистическим строением веществ) приводят в конце концов при определенном накоплении, достижении известного предела к резкому, «моментальному» (по времени) переходу в другое качество. Это подтверждается, например, завершением зачастую цепного распада взрывом (урана — при наличии критической массы).

Форма скачков зависит, как уже отмечалось, также от структуры вещества. Так, аморфные тела в отличие от кристаллических с увеличением температуры переходят в новое состояние (из твердого в жидкое) постепенно.

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 66.

Например, точка плавления льда, имеющего кристаллическое строение, — 0° С. При этой температуре лед резким, относительно мгновенным скачком из твердого состояния переходит в жидкое одновременно по всей массе. Наоборот, переход стекла из твердого состояния в жидкое совершается в некотором интервале температуры, характеризующемся постепенным размягчением (мягкое стекло). Подобным свойством (остекление) обладают также пластмассы, смолы и т. д.

Для некоторых веществ, имеющих кристаллическое строение и обладающих весьма слабыми силами стяжения между частицами в кристалле (малая энергия кристаллической решетки) и в силу этого легколетучих, характерно так называемое явление сублимации. Фактически это скачок, переход из твердого состояния, минуя жидкое (не плавясь), непосредственно в паро- или газообразное. Так, йод сублимируется при нагревании, а твердая двуокись углерода сублимируется уже при комнатной температуре. Особый вид скачка представляет собой химическая сублимация. В основе ее лежит термическая диссоциация, т. е. распад молекул сложного вещества при нагревании на более простые, электронейтральные молекулы. Так, твердый хлористый аммоний в результате термической диссоциации обратимо распадается на газообразный аммиак и хлороводород.

$$NH_4Cl \underset{t_2}{\overset{t_1}{\rightleftarrows}} NH_3 + HCl.$$

Различные формы скачков в зависимости от условий приводят и к различной глубине качественных изменений. Так, аммиачная селитра при слабом нагревании разлагается с образованием аммиака и азотной кислоты. Она же при действии детонационного импульса со взрывом распадается на газообразный азот, кислород и водяные пары. Знание влияния различных условий на форму скачков, а значит, и на конечный результат реакции широко используется химиками на практике.

О многокачественности химических веществ

Вопрос о том, обладает химическое вещество одним качеством или несколькими, имеет важное практическое и теоретическое значение. Правильное его решение зависит от научного метода познания, которым руководствуется исследователь. Не слу-

чайно В. И. Ленин, рассматривая вопрос о многокачественности явлений, раскрыл отличие диалектики от метафизики и эклектики. На простом примере со стаканом в известной работе «Еще раз о профсоюзах» он показал, что последний, как любой материальный объект, имеет бесчисленное количество «свойств, качеств, сторон, взаимоотношений и «опосредствований» со всем остальным миром» [1].

Причем речь идет именно о качестве как определенном комплексе свойств, а не об отдельных свойствах, которые, как, например, свойство растворять металлы, присущи и кислотам, и основаниям, т. е. качественно различным веществам. Следует также иметь в виду, что качество — это не самостоятельная субстанция, так как «существуют не качества, а только вещи, *обладающие* качествами, и притом *бесконечно многими качествами»* [2].

Объективная многогранность, неисчерпаемость материальных объектов является основой их многокачественности. В этом также находит свое выражение и множественность присущих телу противоречий. Наличие противоречий двух противоположных сторон, различных по своим коренным свойствам, тенденциям развития, связано с совместным существованием различных качеств. Присущая телам множественность противоречий проявляется и в их качественных характеристиках.

Следовательно, в самой природе, например, молекулы химического вещества, в ее структуре, связях и превращениях заключена основа многокачественности. Проявление того или иного качества зависит от условий существования и конкретного характера химического взаимодействия (реакции), в которое вступает молекула. Попытки приписывать веществу какое-либо одно раз навсегда данное и постоянное при всех изменяющихся условиях качество, т. е. абсолютизировать его, являются метафизическими.

История изучения таких широко употребляемых в химии и химической технологии веществ, как кислоты и

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 42, стр. 289.

[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 547 (курсив во втором случае мой. — *Н. Б.*).

основания, убедительно подтверждает все вышеизложенное. То, что кислотность — одно качество с присущим ему органическим единством свойств, а основность — другое, вполне очевидно. Так, к свойствам кислот относятся кислый вкус, способность окрашивать лакмус в красный цвет, вступать в реакцию замещения с некоторыми металлами и образовывать соли. Кислоты связывают щелочи и осаждают белки, отнимают у тканей воду и вызывают в них раздражение. На последнем свойстве кислот основано, например, применение разбавленных растворов соляной кислоты для усиления секреции желудка и т. д.

Основания в большинстве случаев представляют собой твердые вещества, многие из них нерастворимы в воде, растворимые основания (щелочи) мыльны на ощупь, окрашивают лакмус в синий цвет, разъедают кожу; характерным свойством оснований является их способность вступать в химические взаимодействия с кислотами, в результате чего образуются соли, и т. д. Таким образом, если уже из простого эмпирического исследования было ясно, что кислотность и основность — разные качества и что вещества — их носители принадлежат к разным классам химических соединений, то была еще не ясна сама природа, структура веществ, обладающих этими качествами, характер процессов, в которых они проявляются.

Первые попытки определить вещества, кислоты и основания в этом отношении были построены на стремлении отграничить их друг от друга. Еще на заре развития химии А. Лавуазье (1778) выдвинул так называемую кислородную теорию кислот, объясняющую все особенности последних наличием в их составе кислорода. Но исследования Г. Деви и Ж. Гей-Люссака (1810—1814) показали, что многие кислородсодержащие соединения (окислы металлов, соли, щелочи и т. д.) не проявляют кислотных свойств, а некоторые соединения, известные как типичные кислоты (соляная, плавиковая, синильная), не содержат кислорода.

Берцелиус (1812—1819) уже подходит к определению кислот и оснований с иных позиций. Он не связывает кислотные или основные свойства вещества с наличием в их составе какого-либо элемента. Причину кислотных или основных свойств Берцелиус видит в знаке электрического заряда окисла. Электроотрицательные окислы

неметаллов образуют кислоты при соединении с водой, электроположительные окислы металлов — основания. Но факты, полученные в ходе развития органической химии, стали противоречить представлениям Берцелиуса о том, что водород, например, всегда электроположителен, а хлор — электроотрицателен. В связи с этим потерпела крах и его теория кислот и оснований, построенная на абсолютизации этих свойств элементов. Г. Деви (1814) создает водородную теорию кислот, считая носителем кислотных свойств водород, входящий в состав всех известных тогда кислот. Ю. Либих (1833) уточняет эту теорию положением, что носителем кислотных свойств является не любой водород, а только тот, который способен замещаться на металл.

Но уже А. М. Бутлеров (1879) подметил ошибочность подобного подхода к определению кислоты и основания, так как с понятием наличия водорода, который замещается металлами, кислотам дается абсолютное значение. «Возьмем, напр., представления наиболее ходячие, наиболее обыкновенные, каковы понятия о кислоте и щелочи. — Разве они абсолютны и приложимы всегда и всюду? Разве в каждом данном случае можно сказать безотносительно, что тело представляет кислоту или что оно есть щелочь? — Очевидно — нет. Мы знаем немало примеров, что вещество может играть и ту и другую роль» [1].

Действительно, становится все более и более известно фактов, говорящих о том, что как кислотные, так и основные свойства относительны, и одно и то же вещество может выступать как в качестве кислоты, так и в качестве основания. Дж. Бренстед, один из создателей современной теории кислот и оснований, прямо исходил из этих предпосылок. В соответствии с его теорией понятия «кислота» и «основание» нельзя закреплять за конкретными веществами, не рассматривая условий, в которых они вступают в реакцию. Например, азотная кислота в безводной серной кислоте является основанием и при этих условиях может быть названа не азотной кислотой, а азотным основанием; анилин в жидком аммиаке — слабая кислота, а в воде он является слабым основанием.

---

[1] А. М. Бутлеров. Избранные работы по органической химии. М., 1951, стр. 432—433.

О взаимопроникновении и единстве этих двух противоположных качеств говорит и широко распространенное явление амфотерности.

Кислотой, по Бренстеду, является донор протона (реагент, отдающий протон), а основанием — акцептор протона (реагент, присоединяющий протон). Сама реакция передачи протона называется протолитической и выражается общей схемой $AH+B^- \rightleftarrows A^- + BH$; где AH — кислота, а B^- — основание. Протолитическая реакция обратима. Поскольку обратный процесс также связан с передачей протона, то и продукты реакции по отношению друг к другу являются кислотой и основанием. Таким образом, BH есть кислота (сопряженная с основанием B^-), A^- — основание (сопряженное с кислотой AH). Так, в реакции $HCl+OH^- \rightleftarrows Cl^- + H_2O$, HCl и H_2O — кислоты, Cl^- и OH^- — соответственно сопряженные с ними основания; в реакции $NH_4^+ + NH_2^- \rightleftarrows 2NH_3$, NH_4^+ — кислота, NH_2^- — основание, а NH_3 выступает как в роли кислоты (одна молекула), так и в роли основания (другая молекула).

Другой подход дан Г. Льюисом. По его мнению, кислотные или основные качества вещества обусловливаются исключительно строением реагирующих молекул, определяющих их электронно-акцепторные свойства. Кислота, по Льюису — акцептор электронной пары (т. е. реагент, присоединяющий ее), а основание — донор (т. е. реагент, отдающий эту пару). Иначе говоря, в основу понятия кислот и оснований Льюис положил электронный механизм взаимодействия между ними.

В ходе реакции между кислотой и основанием пополняется недостаток электронов у одного из атомов молекулы кислоты. В результате возникает более устойчивая электронная группировка (например, октет) и образуется донорно-акцепторная ковалентная связь. Так,

$$\begin{matrix} & H & & & F \\ H: & \ddot{N} & + & \ddot{B}: & F \end{matrix} = \begin{matrix} & H & & F & \\ H: & \ddot{N} & : & \ddot{B} & :F, \\ & H & & F & \end{matrix}$$

где BF_3 — кислота, а NH_3 — основание.

Итак, если, по Бренстеду, кислотные свойства обусловлены наличием протона, то, по Льюису, они зависят исключительно от строения молекул реагентов, которое и

определяет их электронно-акцепторные свойства. Льюис вовсе не связывает качество вещества как кислоты с присутствием в нем какого-либо элемента, вроде, например, водорода, способного отщепляться в виде протона.

Кроме этих общепринятых подходов к классификации веществ по их кислотным или основным качествам, существуют и другие (М. И. Усанович, А. И. Шаттенштейн и другие). Но все они сходны в принципе — ни одно из этих качеств не абсолютизируется, а рассматриваются как неразрывно взаимосвязанные.

В настоящее время твердо установлено, что в зависимости от условий (например, от природы растворителя) одно и то же вещество может выступать как в качестве кислоты, так и в качестве основания. Следовательно, опираясь лишь на сведения о строении и свойствах вещества, нельзя его категорически относить или только к основаниям, или только к кислотам. Оба эти качества существуют в данном веществе одновременно. Представляется возможным только установить, какие функции выполняет, т. е. в каком качестве выступает, вещество в данном кислотноосновном процессе.

Из вышеизложенного следует, что химическое вещество обладает не одним, а несколькими качествами (металл и неметалл, кислота и основание, соединения со смешанными функциями: аминокислоты, оксикислоты, альдегидоспирты и т. д.). Каждое из этих качеств относительно в том смысле, что они не исключают друг друга, а то или иное из них проявляется лишь в определенных условиях существования вещества (например, среды), а также в зависимости от характера химического процесса и природы взаимодействующего с данным веществом реагента.

Когда вещество существует в идентичном (тождественном) самому себе, стабильном состоянии, оно обладает преимущественно одним каким-либо качеством, выражающимся через определенный комплекс химических свойств, физико-химических констант (плотность, строение, t плавления, t кипения и т. д.). Следовательно, многокачественность вещества, то, что оно может в химическом процессе играть то ту, то иную роль, не означает, что вещество качественно неопределенно, и «никому, конечно не придет на мысль утверждать, что понятия о кислоте и щелочи излишни и ничего не сделали для

развития химии в теоретическом отношении» [1]. Это лишь означает, что то или иное качество вещества проявляется в процессе его взаимосвязи с другими веществами, т. е. в химических превращениях, в зависимости от конкретных условий реакции.

Многокачественность химических веществ, относительность того или иного качества, естественно, вытекает также из общего принципа абсолютности, непрерывности движения, из относительного, временного характера покоя, всяких стабильных состояний. Многокачественность — основа бесконечного разнообразия химических превращений веществ, еще одно убедительное доказательство правильности принципа диалектического материализма об отсутствии в природе каких-либо резких разграничительных, абсолютных граней.

---

[1] А. М. Бутлеров. Избранные работы по органической химии, стр. 433.

Глава шестая

О НАПРАВЛЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРЕВРАЩЕНИЯ ВЕЩЕСТВ

Веществу как одной из основных форм материи присущи не только неисчерпаемость «вширь» и «вглубь», бесконечность структурная и пространственная, но и бесконечность генетическая. Это проявляется в непрерывном самодвижении веществ, в их превращениях в результате взаимосвязи и взаимодействия. Процесс химического превращения, переход вещества из одного качественного состояния в другое и означает его развитие.

Источником развития химического вещества, как уже показывалось в предыдущих главах, является общий источник всякого движения, источником изменения — заключенные в самом веществе внутренние противоречия. Их разрешение и ведет к появлению нового химического качества. Таким образом, развитие представляет собой самодвижение химического вещества. Особенности развития, механизм его зависят прежде всего от качественной специфики природы и строения химических веществ.

Развитие химических веществ, наряду со свойственными многим из них циклическими процессами (круговороты в природе C, N, S, H_2O и т. д.), характеризуется в общем определенной направленностью. Для области материального мира, в которую входит и наша планета, это выражается в усложнении структур, уровня организации химических веществ, в возникновении новых, существенных свойств, выражающих в комплексе новые качества, которые открывают возможности новых взаимодействий. Подобное направление развития химических веществ является прогрессивным. Оно привело к возникновению

жизни. Но развитие химических веществ выражается не только в прогрессе.

Отождествлять развитие и прогресс, как это иногда делается, вообще неправомерно. Прогресс — лишь одно из направлений развития. Он характеризуется переходом от низшего к высшему, от менее совершенного к более совершенному качеству. Наряду с прогрессом существует и нисходящая, регрессивная линия развития вещества, когда в результате химического превращения (в частности, разложения) из веществ более сложной структуры, уровня организации получаются более простые формы соединений, структуры с меньшим числом и характером функциональных групп, с более ограниченными возможностями и более элементарным порядком химического взаимодействия. «На определенной стадии прогресса явления наступает высшая точка, за которой следует нарастание регресса, деградации, распада явления» [1].

Таким образом, развитие выступает как единство противоположностей, единство прогрессивной и регрессивной линий, между которыми существует определенная диалектика отношений. Каждая из этих сторон развития имеет не абсолютное, а относительное значение. Возможности развития в том или ином направлении определяются конкретно-историческими условиями. Сложившиеся в нашей части Вселенной физико-химические и другие условия обеспечивают превалирующее развитие прогрессивной линии (температурный режим, преобладание притяжения над отталкиванием, деятельность человечества и т. д.) [2].

Направленность процесса развития химических веществ, отношение между исходным и возникшим качеством в процессе превращения раскрывает третий, «весьма общий, — по определению Ф. Энгельса, — и именно потому весьма широко действующий и важный закон развития природы, истории и мышления...» [3] — закон

---

[1] В. И. Свидерский. Некоторые вопросы диалектики изменения и развития. М., 1965, стр. 190.

[2] Следует отметить проблематичность, дискуссионность понятий прогресса, регресса и вообще развития в области неорганического мира. В данной главе на основе химического материала излагается лишь одна из возможных точек зрения. — *Н. Б.*

[3] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 145.

отрицания отрицания. Отражая, с одной стороны, коренное изменение старого качества, с другой — преемственность между старым и новым качеством, этот закон и определяет направление, общую тенденцию развития.

Отрицание, как известно, есть преодоление старого в ходе борьбы противоположностей. Оно носит диалектический характер, т. е. заключается не только в отбрасывании некоторых устаревших черт, сторон и форм прежнего качества, но и в удержании положительного. Отрицание выступает как момент связи между старым и новым. Следовательно, отрицание — неотъемлемый момент развития, его прогрессивной ветви. В. И. Ленин, выступая против метафизического «голого», «зряшного» отрицания, указывал, что для диалектики, «которая, несомненно, содержит в себе элемент отрицания, и притом как важнейший свой элемент», характерно и существенно все же отрицание «как момент связи, как момент развития, с удержанием положительного» [1]. Только при таком понимании отрицания можно объяснить возможность дальнейшего развития. Всякое новое качество, отрицающее предшествующее, в ходе разрешения своих собственных противоречий само далее отрицается возникшим на его основе другим качеством. Таким образом, развитие как непрерывная смена качеств есть бесконечная цепь взаимоотрицаний. Поэтому закон, отражающий данную сторону процесса развития, называется законом отрицания отрицания.

Характерной чертой поступательного, прогрессивного развития, совершающегося в соответствии с законом отрицания отрицания, является повторяемость на качественно ином, более высоком этапе развития некоторых черт, сторон, особенностей низшего качества.

Отмечая характерные особенности отрицания, В. И. Ленин подчеркивал: «Развитие, как бы повторяющее пройденные уже ступени, но повторяющее их иначе, на более высокой базе («отрицание отрицания»), развитие, так сказать, по спирали, а не по прямой линии...» [2]. В науке это ярко выражается в процессе смены научных гипотез, в создании новых теорий.

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 207.
[2] Там же, т. 26, стр. 55.

Особенности действия закона отрицания отрицания в развитии атомно-молекулярного учения и в химических превращениях

Весьма наглядно это прослеживается при рассмотрении развития основного физико-химического учения о строении материи. Первая гипотеза об атомистическом строении материи связывается, как известно, с именем древнегреческого философа Демокрита, который учил, что существуют только атомы и пустота. Его атомы неизменны и неразрушимы, качественно одинаковы и отличаются друг от друга лишь формой. Они движутся в пустом пространстве. Столкновение и соединение атомов друг с другом приводит к образованию тел, существование которых обусловлено связью атомов между собой. Разрушение этой связи, разъединение атомов приводит к исчезновению тел, к их гибели. Воздействие атомов на органы чувств человека вызывает ощущения.

Но уже последователь Демокрита Эпикур к форме как основному свойству атомов прибавил еще и тяжесть, которую он рассматривал как причину первоначального движения атомов в пустоте. Он, однако, полагал, что если все атомы в пустоте будут двигаться с одинаковой скоростью, то исключится возможность их столкновений, а следовательно, и образования тел. Поэтому Эпикур вводит понятие о новом виде движения. Прямолинейное движение атомов сверху вниз (вследствие тяжести) он дополняет их самопроизвольным отклонением в сторону. Это и обеспечивает возможность столкновения, сочетания атомов и образования тел. В идее о спонтанном, или самопроизвольном, отклонении атомов впервые в наивно-материалистической форме была выражена догадка о внутреннем источнике движения материи.

В период средневековья атомистическое учение находилось под запретом, ибо противоречило учению Аристотеля и догматам церкви. Лишь через полтора тысячелетия идеи атомизма возрождаются вновь. Они развиваются в воззрениях Галилея, Гассенди, Бойля, Ломоносова, Ньютона. Идеи классической механики наложили свой отпечаток на атомистику.

Ньютон, например, считал, что по своей форме атомы похожи на небесные тела, являются маленькими шариками. Он полагал, что мельчайшие частички, составляющие материальные тела (атомы), обладают *массой.* Это

была уже совершенно новая физическая характеристика. Частички любого вещества, по его мнению, имеют одинаковую массу. Различие же тел объясняется разными промежутками между частичками. Материальные частички обладают *силами,* которые обусловливают их притяжение и отталкивание. Тем самым Ньютон преодолел представления Демокрита о крючках и зазубринках, которые имеются якобы у атомов (корпускул). Однако атомы Ньютона и состоящая из них материя пассивны. Изменения происходят только под влиянием внешних сил.

Таким образом, ученые XVII—XVIII вв. возродили и приняли в основном атомистические идеи древних. Но они дополнили их понятием массы и силы. Движение атомов, как и движение обычных тел, стали рассматривать на основе законов механики. От умозрительных догадок перешли к объяснению, с помощью учения об атоме, конкретных физико-химических явлений. Как видим, механическая атомистика, считавшая всякое изменение результатом воздействия внешних сил, была прямым отрицанием идеи древних о спонтанном движении атомов.

Новым этапом в развитии атомистики явилось создание в XVIII—XIX вв. химической атомистики. Ломоносов впервые высказывает мысль о качественно различных ступенях дискретности, разграничивает понятия «элемент» и «корпускула» и, вопреки механистам, основывает атомистику на неразрывности материи и движения. Но в объяснении химического сродства веществ, связи атомов он остается на уровне Демокрита и Бойля.

Дальтон разработал химическую атомистику. Он ввел важнейшее понятие химии — понятие атомного веса. Это понятие было впоследствии положено Менделеевым в основу систематики химических элементов. Важным моментом в разработке учения о прерывном строении материи явилось возникновение представления о молекуле.

Учение об атомно-молекулярном строении вещества составило общетеоретический фундамент теории химического строения органических соединений Бутлерова. Блестящим теоретическим обобщением и утверждением атомистического учения стало открытие периодического закона. Атомистика Менделеева по своему содержанию диалектична. Здесь атомы всех химических элементов

оказались органически связанными между собой общей закономерностью. Обнаружилась связь между количественным значением атомного веса и химическими свойствами атома. Выяснилось, что противоположность металлических и металлоидных свойств у атомов, вопреки господствовавшим ранее взглядам, имеет не абсолютный, а относительный характер.

Итак, химики-атомисты XVIII—XIX вв. впервые применили теоретические представления об атомах для объяснения состава и свойств химических веществ. Понятие атома значительно обогатилось. Ученые теперь считали, что атом обладает весом и рядом других конкретных физико-химических свойств. Была установлена качественно иная ступень дискретности — молекула. Химическая атомистика, таким образом, отрицала идеи древней и классической атомистики о качественно одинаковых, связанных лишь механически, неизменных атомах.

На основе периодического закона возникает новая атомистика. Открытие радиоактивности показало разрушимость и превращаемость атомов. Были найдены другие частицы материи, являющиеся носителями электричества и света, обнаружены такие свойства материи, как дискретность электричества, дискретность действия, изменчивость массы и т. д. Идея дискретности распространилась не только на вещество, но и на другие формы материи (электромагнитное поле) и ее свойства. Атомистика стала физической по своему содержанию.

Физическая атомистика XX в. разрушила представление о неделимом атоме, которое было основной посылкой всех прежних атомистических учений. Она установила новые ступени дискретности — «элементарные» частицы, выяснила двойственную корпускулярно-волновую природу всех микрочастиц: молекулы, атома, «элементарных» частиц, взаимопревращения последних друг в друга. Следовательно, в новой атомистике произошло отрицание и другой идеи предшествующего атомизма — идеи о том, что материя обладает только прерывным строением. На смену ей пришло представление *о единстве прерывности и непрерывности* в структуре материи. Вместе с тем атомистика XX в. как будто «вернулась» к идее древних о самодвижении, но на более высоком уров-

не. Она опиралась при этом на теорию относительности и квантовую механику.

Такова цепь отрицания отрицания в ходе развития атомистики, где наряду с отбрасыванием всего устаревшего, не соответствующего новым данным науки и практики, наблюдалась и преемственность, включение положительного зерна предшествующих учений в новое содержание, совершался якобы «возврат» к старому. Значит, отрицание отрицания есть не просто прямолинейное поступательное движение, а движение с «возвратом», в котором ранее пройденный этап повторяется на высшей основе.

Повторяемость обусловлена тем, что она происходит путем борьбы противоположностей, путем взаимного отрицания этих противоположностей. Ибо отрицание, совершенное дважды, предполагает повторение на высшей ступени того, что было пройдено на низшей. Но это повторение не абсолютное. Оно включает в себя лишь некоторые черты и особенности старого, причем при их более богатом содержании. Подобное развитие наиболее верно передается образом спирали со все более расширяющимися витками.

Это можно проследить и на примере развития представлений о строении органических соединений в химии. Теория радикалов метафизически абсолютизировала *неизменность* радикалов в процессе химической реакции. Она отразила лишь одну из объективно существующих сторон химического явления. Теория типов, наоборот, выступив отрицанием теории радикалов, подчеркнула наличие в молекуле *изменчивой* функциональной группы. Теория Бутлерова явилась *синтезом,* раскрыв сложное диалектическое единство, взаимосвязь обеих этих сторон молекулы органического соединения. Она выступила как отрицание отрицания, как качественно новый этап в развитии учения о химическом строении.

Прогрессивность, поступательность развития как преобладающая тенденция в таких областях материального мира, как общество и живая природа, несмотря на различие в их содержании, достаточно подтверждены фактами. Это относится в общем и к развитию химического вещества. Во многих химических процессах происходит усложнение структуры и связей частиц вещества, что можно рассматривать как специфическую форму про-

грессивного, поступательного движения. Но одновременно в превращениях веществ имеет место и обратное движение — распад сложных частиц на более простые элементы, связи и формы. Обратимость химических реакций (в принципе всех), существование химических процессов в состоянии динамического равновесия, видимо, подтверждает это. Преимущественность какого-либо из направлений в ходе реакции определяется конкретными условиями химического превращения.

Делаются попытки определить понятие развития с учетом особенностей подобных процессов в неорганической природе. Так, С. Т. Мелюхин полагает, что развитие есть «интегральное, закономерное и самопроизвольное изменение качественного состояния системы как единого целого» [1]. Б. М. Кедров вообще определяет развитие как «движение, имеющее определенную направленность, определенную тенденцию, исходный и конечный пункты которого различаются между собой как качественно различные ступени, возникшие одна из другой и одна после другой» [2].

В обоих определениях подчеркивается мысль о развитии как закономерном, качественном изменении. Причем Кедров, рассматривая каждую конечную вещь и конечный процесс как имеющие в природе «две ветви своего закономерного развития» [3], считает, что обе они, и прогрессивная, и регрессивная, повторяют «те же самые ступени» [4] развития, но в различных направлениях. Причину этого он видит в совпадении обеих ветвей развития в пределах неорганической природы.

Понимание развития, учитывающее наряду с общими чертами качественные особенности, присущие «неживой» и «живой» природе, а также обществу, более точно отражает объективную действительность. Это подтверждает также специфика действия и форма проявления отрицания отрицания как одного из основных законов развития в различных областях материального мира. Не одинаков и сам способ отрицания. Он определяется, по словам

---

[1] См.: «Философские вопросы современного учения о движении в природе». Л., 1962, стр. 175.

[2] Б. М. Кедров. О повторяемости в процессе развития. М., 1961, стр. 73.

[3] Там же, стр. 76.

[4] Там же, стр. 81.

Ф. Энгельса, «во-первых, общей, а во-вторых, особой природой процесса... Для каждого вида предметов, как и для каждого вида представлений и понятий, существует, следовательно, свой особый вид отрицания, такого именно отрицания, что при этом получается развитие»[1].

Как это выражается в химических явлениях? Любой химический процесс, как мы видели, протекает по законам единства и борьбы противоположностей, перехода количества в качество. В каждой химической реакции, связанной с переходом из одного качества в другое, имеет место диалектическое отрицание. Оно заключается в том, что образующееся новое вещество не отбрасывает нацело, не отрицает полностью, а сохраняет некоторые особенности структуры (строения), связей, элементы и отдельные свойства исходных веществ. Иногда в состав конечного продукта реакции включается полностью состав исходных реагентов (реакции полимеризации). Путем диалектического отрицания осуществляется взаимосвязь между разными качествами, между исходными и полученными веществами в процессе химической реакции.

Уже в такой простой реакции соединения, как получение воды, ясно выступает момент отрицания: $2H_2+O_2=2H_2O$. Конечный продукт (H_2O) в противоположность H_2 и O_2 — сложное вещество, включающее в свою структуру как атомы водорода, так и кислорода. Произошло усложнение вещества и отрицание свойств исходных веществ. В многочисленных реакциях разложения дело обстоит наоборот. Возникают не более сложные по своему составу, строению и свойствам соединения, а элементарные, более простые. Например, при разложении основной углекислой меди получается окись меди, вода и углекислый газ $Cu_2(OH)_2CO_3=2CuO+H_2O+CO_2$, и в этом случае имеются элементы отбрасывания и преемственности между исходными и полученными веществами, т. е. элементы отрицания.

Есть много реакций, в которых последовательно совершается несколько отрицаний. Например, обычная реакция обмена или двойного разложения $NaCl+AgNO_3=AgCl\downarrow+NaNO_3$. При растворении NaCl и $AgNO_3$ в воде они диссоциируют на ионы. Это является отрицанием

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 145—146.

их первоначального молекулярного состояния. В результате химического взаимодействия ионы Ag^+ и Cl^- вновь образуют молекулы, но уже иного качества: нерастворимые в воде и в силу этого неспособные более образовывать ионы.

Данная химическая реакция осуществляется путем перехода от молекулярного состояния исходных веществ к ионному и снова к молекулярному. При этом имеет место повторение первоначального (молекулярного) состояния, но на иной качественной основе, сохранение в составе конечных продуктов некоторых элементов и характера связей (ионная) исходных реагентов, т. е. отрицание совершалось как бы дважды. Однако в действительности это лишь одно звено цепи всех возможных превращений веществ, участвующих в данном процессе развития (от низшего к высшему); спиралевидность при этом еще не выступает. Спиралевидность развития, выражающую действие закона отрицания отрицания, можно проследить только на длинной цепи последовательно следующих друг за другом качественных превращений, когда они связаны с усложнением и повторяемостью тех или иных свойств на новой, более высокой основе.

Тенденция поступательного развития в неорганической природе при переходе от неживого к живому и в развитии органического мира отражает характер основного направления в непрерывной цепи химических превращений. Ведь физико-химические процессы и возникшие в результате последовательного усложнения химические вещества лежат в материальной основе жизни, деятельности специфических функций организма. Но поступательность химических превращений носит не столь явный характер.

Многие важнейшие химические элементы и соединения (N_2, S, C, CO_2, H_2O и т. д.), казалось бы, совершают лишь круговорот в природе, снова и снова возвращаются в исходное молекулярное состояние, образуя как бы замкнутые циклы. Никакой спиралевидности при этом не обнаруживается. Но при рассмотрении подобных циклов в связи с поступательным движением природы в целом становится очевидным, что каждый из них представляет собой необходимое звено в общей цепи развития. В действительности каждый цикл совпадает только по своему начальному и конечному результату. Содер-

жание его при общей поступательной тенденции развития природы в зависимости от изменившейся среды изменяется. Новый цикл может завершиться в другой отрезок времени, более длительный, пройти разные этапы в своей восходящей и нисходящей ветвях. Так, циклы, совершившиеся, например, ранее в условиях нашей планеты, с появлением и развитием флоры и фауны и особенно человека, в сильной степени преобразующего растительный и животный мир своей хозяйственной деятельностью, становятся различными. Именно в результате бесчисленного множества таких внутренне-непрерывно изменяющихся циклов сама природа усложняется, становится многообразнее. Общий характер цепи непрерывных химических превращений, основное направление этой цепи раскрываются во внутреннем единстве, органической взаимосвязи следующих друг за другом циклов с поступательным развитием природы в целом. Это единство цикличности и поступательности и находит свое выражение в спиралевидной форме развития «неживой» и «живой» природы.

Спиралевидность развития более или менее ясно можно проследить на ряде связанных между собой фаз, стадий химического процесса. Например, при получении азотной кислоты (схематично) в первой фазе синтеза аммиака из азота и водорода

$$N_2 + 3H_2 \xrightarrow[t,\ p]{\text{катализатор}} 2NH_3$$

осуществляется первое отрицание исходных простых веществ — азота и водорода — сложным конечным продуктом NH_3.

Вторая фаза — окисление аммиака $4NH_3 + 7O_2 \rightarrow \rightarrow 4NO_2 + 6H_2O$. Полученная двуокись азота есть отрицание продукта первой фазы (NH_3). Если аммиак — соединение, обладающее осно́вными свойствами и меньшим молекулярным весом, то двуокись азота — более сложное химическое вещество кислотного характера. В третьей, заключительной фазе уже образуется азотная кислота:

$$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2.$$

Азотная кислота получена в результате ряда последовательных отрицаний. Она является самым сложным соединением, синтетически содержит в себе все элементы,

вводившиеся в реакцию на разных стадиях (N_2, H_2, O_2), и повторяет некоторые свойства (кислотность) на качественно новой, более высокой основе.

Таким образом, первое отрицание осуществляется так, что создается возможность последующего отрицания. Вторичное отрицание также не может быть окончательным. Оно должно быть исходным пунктом для дальнейшего отрицания. Действительно, азотная кислота оказывается, в свою очередь, исходным продуктом для получения многих, подчас более сложных по составу важных химических соединений (солей). Аналогичный пример представляет собой многофазное получение и других химических соединений.

Диалектическое отрицание должно обусловливать возможность развития, т. е. переход к другому качеству. Это означает сохранение в продуктах промежуточной фазы реакции таких свойств исходных веществ, которые необходимы для дальнейшего превращения. Следовательно, само отрицание, химическую реакцию, надо провести определенным способом. Это достигается подбором соответствующих реагентов и условий.

Периодический закон как отражение диалектики развития вещества путем отрицания отрицания

Специфична форма проявления закона отрицания отрицания в системе химических элементов. Периодическая повторяемость свойств элементов, установленная Д. И. Менделеевым, носит совершенно иной, особый характер по сравнению с другими, известными в природе явлениями повторяемости. «Все же, что было известно в отношении к функциональной зависимости от масс, ведя свое начало от Галилея и Ньютона, показывало, что, по мере возрастания массы, переменные функции падают или растут, как притяжение небесных светил. Всегда выражение явлений оказывалось пропорциональным массе, и *не было ни разу, чтобы с возрастанием массы начиналось, через некоторый период, повторение свойств,* как оказалось в периодической законности для химических элементов. Это составило такую новость в изучении явлений природы... Периодический закон уловил способность наших химических индивидуумов *производить гармоническую* —

в зависимости от масс — повторяемость свойств»[1]. Притом, указывал Менделеев, «с переменою массы элемента при химических эволюциях — *нечто повторяется,* но при этом *и многое все же подвергается изменению»*[2].

Следовательно, особенностью повторяемости свойств у элементов, расположенных по возрастанию величин их атомных весов, является не абсолютное, механическое повторение, совпадение свойств, возврат к исходному моменту, движение по кругу и не простое прямолинейное поступательное движение, а повторение относительное, частичное, когда, наряду со сходством, имеет место и различие. Некоторые свойства (например, металличность) с каждым новым повторением нарастают, а противоположные им (неметаллические) соответственно уменьшаются. Такое распределение элементов, а следовательно, их свойств, по словам Менделеева, «представляет... непрерывность и отвечает доле некоторой степени спиральной функции»[3]. Рассмотрим это на таблице периодической системы.

Каждый новый период начинается с элемента, на внешней орбите которого один электрон, а на предпоследней — восемь. Это означает, что каждый элемент нового периода содержит в своей структуре электронный октет инертного газа, заканчивающего предыдущий период. Следовательно, имеет место последовательное усложнение структуры. То же самое происходит внутри каждого периода при переходе от элемента к элементу. Электронная структура атома предшествующего элемента повторяется в структуре последующего. Налицо преемственность как необходимый элемент отрицания.

Изменение химических свойств при последовательном переходе от элемента к элементу также происходит посредством отрицания отрицания. Так, металлические свойства элементов слева направо убывают, а неметаллические — растут. Таким образом, внутри периода происходит отрицание одних свойств другими, прямо противоположными. Каждый период завершается относительно химически инертным элементом нулевой группы, ко-

---

[1] Д. И. Менделеев. Периодический закон. Серия «Классики науки». М., 1958, стр. 215 (курсив мой. — *Н. Б.*).

[2] Там же, стр. 553 (курсив мой. — *Н. Б.*).

[3] Д. И. Менделеев. Новые материалы по истории открытия периодического закона. М., 1950, стр. 34.

торый также является отрицанием предшествующего, отрицанием химически активных элементов (металлов и неметаллов) своего периода. Новый период начинается с элементов, как бы повторяющих свойства предшествующего.

Первым элементом второго периода является щелочной металл литий. Далее в периоде опять происходит отрицание металлических свойств неметаллическими. В конце периода стоит химически активный неметалл (фтор). Период завершается инертным газом неоном. В начале следующего периода снова имеет место как бы возврат к исходному пункту, к металлам, т. е. вновь совершается отрицание отрицания. Первый элемент третьего периода — натрий, одновалентный металл с сильными щелочными свойствами. Поэтому в таблице натрий находится в одной группе с литием, стоит под ним.

Это означает, что натрий — химический аналог лития. Он имеет сходные с ним свойства, но не более. В остальном натрий — совершенно самостоятельный элемент со своим зарядом ядра (определившим его особое место в таблице), атомным весом, структурой, спектром, химическими свойствами и т. д. Характерно, что металличность в образовавшейся таким образом подгруппе первой группы химических аналогов — щелочных металлов — не просто повторяется, а возрастает от Li к Na и далее сверху вниз к Rb и Cs. Возрастают также и некоторые другие свойства (летучесть и др.). Следовательно, возврат «якобы к старому», повторение свойств у элементов-аналогов в новом периоде происходит на иной, более высокой основе.

Таким образом, в начале каждого периода имеет место отрицание отрицания. Сам переход от периода к периоду, а также от элемента к элементу внутри периода является скачком. Он сопровождается изменением качества, усложнением структуры, увеличением величины заряда ядра. При этом увеличиваются сами периоды и число входящих в них элементов. Периодическая повторяемость свойств начинает носить более сложный характер. В больших периодах наблюдается внутренняя периодичность в изменении свойств. Так, в четвертом периоде металлические свойства сначала ослабляются, начиная от K, затем снова усиливаются по направлению к Co и Ni и далее к концу периода опять ослабевают (As, Se, Br).

В таблице периодической системы, как известно, два направления: вертикальное — подгруппы и горизонтальное — периоды. Валентность, а следовательно, и формы соединений в подгруппах элементов остаются одними и теми же, радиусы же атомов, ионизационные потенциалы и все связанные с ними свойства (металличность,



Рис. 10.

$t_{пл}$, $t_{кип}$) меняются закономерно, периодически. В периодах с ростом заряда ядер меняется валентность, радиусы атомов, ионизационные потенциалы и все связанные с этими величинами свойства. Наглядно периодическая повторяемость наблюдается в изменении такого важного свойства, как ионизационный потенциал (см. рис. 10).

По характеру кривой видно, что наряду с общим закономерным ходом максимумов наблюдается целый ряд мелких, местных отклонений от периодического закона. Но эти отклонения не нарушают общего хода развития. Это вполне соответствует положению научной философии о том, что при сохранении общей тенденции поступательного развития, развития по восходящей линии, возможны отклонения, зигзаги и даже отступления. Само развитие представляет собой сложный и противоречивый процесс, где необходимая, закономерная тенденция пробивает себе дорогу через мелкие, случайные отклонения, зависящие от частных особенностей и условий. Подобные зигзаги и отклонения в изменениях ионизационного

потенциала от общей периодической закономерности имеют свои причины и положительную сторону. Исследование их позволяет более глубоко проникнуть в строение атомов тех или иных элементов. Чрезвычайно важным, однако, является тот факт, что сами эти отклонения были установлены на основе периодического закона.

Аналогичную картину дают графики зависимостей атомных объемов и температур плавления простых веществ от порядковых номеров (*Z*) элементов (см. рис. 11, 12).

Действие закона Д. И. Менделеева распространяется и на химические соединения. Наблюдается периодичность изменения свойств химических соединений в зависимости от строения образующих их атомов. Так, каждый период начинается атомами элементов, оксиды и гидрооксиды которых — сильные основания. Кончается же период (не считая инертных газов) атомами элементов, оксиды и гидрооксиды которых при максимальной валентности центрального атома — активные кислоты. В подгруппах при движении сверху вниз при одинаковой валентности центральных атомов кислые свойства оксидов и гидрооксидов исчезают и появляются амфотерные и основные. Периодическое изменение претерпевает и химический характер галогенных соединений, ибо он зависит от места элемента в периодической системе и связан с изменением валентности и радиуса атомов, которые сами изменяются периодически. Так же в основном происходит изменение $t_{пл}$ и $t_{кип}$ для простых веществ, хотя периодичность в этом случае и имеет сложный характер.

Итак, в системе химических элементов в целом, как в зеркале, отразились важнейшие черты закона отрицания отрицания: связь и преемственность между старым и новым, сохранение новым качеством ряда сторон, свойств, элементов структуры, связей старого качества, повторяемость в форме периодичности на новых этапах (на качественно иной основе) отдельных сторон, свойств, присущих ранее пройденным этапам.

Периодический закон отразил принципиально важную сторону объективной диалектики, господствующей в неорганической природе. Он показал, что химические элементы образовались из более простых форм и являются результатом поступательного развития материи. Подоб-

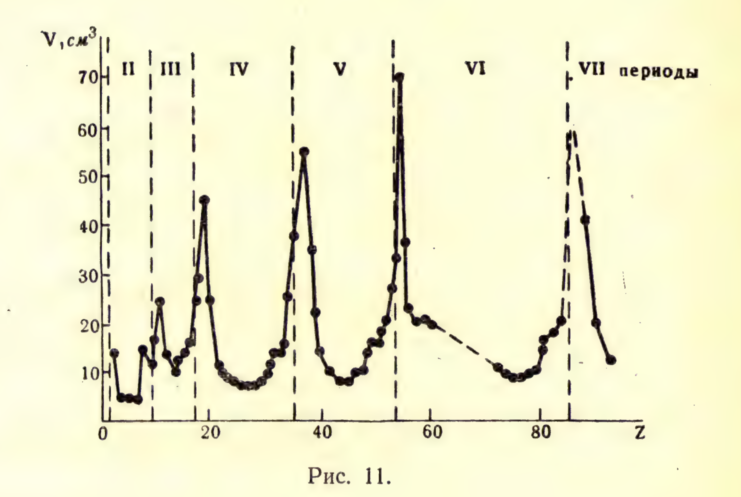


Рис. 11.

Т.пл., °K
II
III
IV
V
VI
VII периоды
4000
3000
2000
1000
0
20
40
60
80
100
Z

Рис. 12.

ное развитие, выражающееся в закономерном, периодическом усложнении структур, изменении ряда важнейших свойств, наиболее полно выражается в виде спирали со все расширяющимися витками. В то же время более простые элементы могут быть получены (что, видимо, самопроизвольно и происходит в других областях Вселенной) в процессе обратного движения, распада сложных форм на более простые.

В условиях нашей планеты основная тенденция при самопроизвольном изменении вещества проявляется как поступательная в соответствии с законом отрицания отрицания. Эта же тенденция в основном проявляется и в осуществляемых искусственно превращениях веществ, что находит свое яркое выражение в преобладании синтеза в современной химии. Объективность существования и единство восходящей и нисходящей ветвей в превращениях веществ находят свое отражение в химии в единстве двух взаимопротивоположных процессов — соединения и разложения, в двух взаимосвязанных методах получения и исследования веществ — синтезе и анализе.

О периодической повторяемости в гомологических рядах

Периодические зависимости, являющиеся особой формой повторяемости и столь наглядно выражающие прогрессивность развития вещества и иллюстрирующие проявления закона отрицания отрицания, широко распространены в органической химии. Особенно ярко это выражено в гомологических рядах. Гомология является одной из важных форм развития органических соединений. Наличие гомологов, гомологических рядов обеспечивает бесконечное разнообразие и богатство форм и классов органических веществ.

Именно в гомологических рядах реализуется способность углерода образовывать цепи. На более или менее значительных отрезках этих цепей и можно проследить в конкретно специфической форме проявление общих законов развития. Ф. Энгельс блестяще использовал эту возможность. Он показал на примере ряда предельных углеводородов, карбоновых кислот в частности, что столь характерное для них монотонное изменение некоторых химических и физических свойств в зависимости от изменения состава (например, температуры кипения) является наиболее простой связью количества и качества.

Рассмотрение других свойств (например, температур плавления, констант диссоциации, некоторых химических и биологических свойств) гомологов ряда карбоновых кислот раскрывает в довольно явной форме еще одну характерную зависимость. Это, в частности, периодическое изменение данных свойств с нарастанием длины цепи в процессе поступательного движения. Не случайно периодическая зависимость начинает проявляться довольно отчетливо как раз за пределами первых членов ряда карбоновых кислот, приведенного Ф. Энгельсом. Как известно, именно начальные члены гомологического ряда бедны по своим возможностям. Лишь в средних членах раскрывается все разнообразие этих возможностей и наиболее типичные черты ряда. Подобное выпадение начальных членов ряда из общей периодической зависимости является, таким образом, особенностью поступательного развития, проявления в данном случае закона отрицания отрицания.



Рис. 13.



Рис. 14.

Это хорошо видно из характера кривых зависимости температуры плавления и константы диссоциации от длины углеродной цепи (см. рис. 13, 14).

При последовательном усложнении молекулы одноосновной кислоты, с нарастанием длины цепи имеет место определенная периодичность в изменении температур плавления и констант диссоциации. Это выражается как бы в своеобразном возврате к старому. Но подобное повторение данных параметров происходит уже на новой, качественно высшей ступени. Она характеризуется как общим количественным ростом молекулы, так и соответ-

ственным линейным изменением других свойств (температуры кипения, удельного веса, показателя преломления, растворимости в воде и т. д.).

Периодичность повторения температур плавления и констант диссоциации в развитии ряда карбоновых кислот носит характер триады. Ибо при общей тенденции к повышению температур плавления и к понижению констант диссоциации относительная периодическая повторяемость этих свойств наблюдается через один член гомологического ряда. Таким образом, поступательное развитие молекул вещества, их некоторых свойств в гомологическом ряду карбоновых кислот представляет собой цепь повторяющихся триад.

Следовательно, налицо связь, преемственность в процессе поступательного развития органического вещества данного гомологического ряда, выражающаяся в том, что каждый последующий член структурно образуется из предыдущего путем последовательного увеличения молекулы на гомологическую разницу (группа CH_2). Это объясняет наличие свойств, общих всем карбоновым кислотам (образование предельных углеводородов при сплавлении солей и кислот со щелочами, получение альдегидов и кетонов посредством перегонки кальциевых солей этих кислот, способность образовывать эфиры и т. д.).

Правда, в рассматриваемом гомологическом ряду у последующего члена не наблюдается появления свойств, прямо противоположных, отрицающих свойства предыдущего члена, как это имело место в периодической системе при переходе от одного периода к другому (например, взаимоотрицание металлических и неметаллических свойств). Здесь имеет место лишь определенная повторяемость некоторых свойств, своеобразная функциональная периодическая зависимость. Только в этом смысле в данном примере выражается отрицание старого качества новым.

Подобное своеобразное отрицание в гомологическом ряду вполне естественно, ибо в каждом конкретном случае отрицание совершается в соответствии с природой и особенностями явления. Но при этом сохраняются специфические основные черты отрицания: преемственность, повторяемость на высшей ступени некоторых свойств, сторон старого качества.

В многочисленных гомологических рядах других органических веществ поступательное развитие происходит в принципе так же, как и в ряду карбоновых кислот. Разница лишь в том, что могут периодически изменяться не два, а три или несколько различных свойств. Сама периодичность изменения может носить характер не триады, а быть более сложной, совершаться через два, три и более членов гомологического ряда. Так, относительная реакционная способность членов гомологического ряда алифатических хлоридов при взаимодействии с йодистым калием изменяется с периодическим повторением через два члена ряда. Причем, большинство других свойств при последовательном усложнении молекулы алифатического хлорида изменяется линейно.

$n - C_4H_9Cl$		взято за единицу	
C_2H_5Cl	1,94	$n - C_7H_{15}Cl$	1,20
$n - C_3H_7Cl$	1,03	$n - C_8H_{17}Cl$	1,32
$n - C_4H_9Cl$	1,00	$n - C_{12}H_{25}Cl$	1,00
$n - C_5H_{11}Cl$	1,26	$n - C_{16}H_{33}Cl$	0,90
$n - C_6H_{13}Cl$	1,22	$n - C_{30}H_{61}Cl$	0,88

Как видно из таблицы [1], высокая реакционная способность хлористого этила (условно равная 1,94) как бы отрицается более низкой реакционной способностью хлористого пропила (1,03) с дальнейшим понижением у хлористого бутила (до 1,00). У хлористого амила реакционная способность вновь относительно резко повышается (до 1,26), т. е. через два члена гомологического ряда совершается как бы отрицание отрицания, возврат к старому, на уровне более сложной организации молекулы и новой качественной основе. Затем следует опять понижение, через два члена ряда — снова повышение и т. д.

Такая же примерно периодичность наблюдается в изменении терапевтической активности в ряду сульфамидных препаратов в зависимости от длины цепи (величины ацильного остатка), а также в изменении токсиче-

---

[1] Графики и таблица взяты из книги Ю. А. Жданова «Гомология в органической химии». М., 1950, стр. 71, 65.

ского действия и трипаноцидной активности в гомологическом ряду веществ типа

$$Ac \cdot NH \langle \quad \rangle SO_2NH_2$$

в зависимости от величины кислотного остатка.

Все свойства членов гомологического ряда не являются простой линейной функцией длины цепи. Прав Ю. А. Жданов, когда пишет: «Такое простое, на первый взгляд, явление, как гомология, оказалось неисчерпаемо богатым и порождает удивительное изобилие химических и физических свойств, отношений, закономерностей»[1].

Таким образом, гомологические ряды являют собой не только замечательный пример перехода количественных изменений в качественные, но и пример развития химических веществ путем отрицания отрицания. Особенность проявления закона здесь состоит в том, что периодически относительно повторяются не все свойства вещества, а лишь некоторые из них при линейной изменяемости остальных. Само диалектическое отрицание каких-либо свойств вещества выражается не в полном уничтожении их и замене противоположными свойствами, а в периодическом изменении величин, характеризующих эти свойства (глубина и оттенок окраски, сила и нюанс запаха, величина температуры плавления, константы диссоциации, химическая активность, степень токсичности и т. д.).

Спиралевидность развития в гомологических рядах наиболее ясно проявляется в середине ряда. Это непосредственно вытекает из их основной особенности. Ибо если начальные члены ряда бедны по своим возможностям, что ясно выражено и в приведенных выше графиках, то «при большом удлинении углеродного остатка наблюдается постепенное омертвение ряда, сглаживание всех особенностей, угасание всех свойств под влиянием тяжелого и инертного углеводородного остатка, который как бы поглощает функцию»[2].

Следовательно, поступательное, спиралевидное развитие (усложнение) свойств, форм, связей соединений гомологического ряда идет до известного предела. Затем

---

[1] Ю. А. Жданов. Гомология в органической химии, стр. 70.
[2] Там же, стр. 72.

начинается спад, «омертвение» ряда, угасание свойств, т. е. регрессивное развитие. Это является общей закономерностью гомологических рядов в химии и подтверждает объективность регрессивного направления развития.

Развитие, превращение веществ в химии, таким образом, выступает как органическое единство и взаимодействие двух противоположных тенденций — усложнения (прогресса) и распада (регресса). О закономерностях регрессивного развития гомологических рядов трудно что-либо сказать в связи с недостаточным исследованием этого направления в химическом отношении. Как видно, и в самой природе, и при получении химических веществ искусственным путем, и в периодическом законе, и в гомологических рядах, отражающих объективный процесс развития вещества, в той или иной особой форме проявляется и действует один из законов материалистической диалектики — закон отрицания отрицания.

Глава седьмая

ДИСКРЕТНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЕЩЕСТВА

Проблема прерывного и непрерывного в строении материи и соотношения этих сторон является одной из важнейших проблем философии и естественных наук. Идеи дискретности материи, связанные с именами Демокрита, Гассенди, Ньютона, Ломоносова, Дальтона (классический атомизм), приведшие к учению об атомистической структуре материи, легли в основу атомистической картины мира и явились важнейшим этапом в познании природы и развитии теоретического естествознания. Одновременно возникла и параллельно развивалась элеатами и школой Декарта мысль о непрерывности материи (классический континуализм), которая в естественных науках не сразу привела к столь ощутимым результатам, как концепция дискретности.

На протяжении веков, вплоть до возникновения новой атомистики и диалектико-материалистической философии, шла ожесточенная борьба между сторонниками этих двух противоположных концепций. С позиций господствовавшего метафизического метода мышления материя трактовалась либо как нечто только дискретное, либо непрерывное. С одной стороны, дискретность, множественность, разделенность, с другой — непрерывность, сплошность, абсолютное единство. Прерывность выступила философской основой концепции первичных частиц, далее неделимых и бесструктурных, изолированных друг от друга, способных вступать лишь в чисто внешние сцепления. Наоборот, абсолютизация непрерывности приводила к теориям сплошности, к отрицанию бесконечной делимости материи, прерывности и самой идеи атомизма.

В процессе развития естествознания и философии обе эти концепции, как и связь между ними, предстали в ином плане. Из философов Гегель впервые предпринимает попытку синтеза этих двух противоположных воззрений. Но лишь с позиций материалистической диалектики было разработано стройное и цельное учение о прерывном и непрерывном строении материи, решена проблема соотношения этих двух противоположностей.

В химии эта общая проблема выступила в виде проблемы дискретности и непрерывности *химического состава вещества*[1]. Постановка и решение ее связаны с определенными этапами в развитии химической науки и имеют огромное значение как для более глубокого понимания существа химической формы движения и ее закономерностей, так и для обоснования и дальнейшего развития ряда принципиальных положений диалектического материализма.

Утверждение идеи о прерывном составе химических соединений

Спор Пруста и Бертолле о том, является ли состав химических соединений постоянным или переменным, закончился, как известно, победой Пруста. Это обусловливалось соответствующим уровнем химического эксперимента и развитием химической теории того времени. В последующий период, вплоть до второй половины XIX в., развитие химии предоставляло все новые и новые факты, подтверждавшие точку зрения Пруста. Наибольшее торжество последней связано с разработкой и утверждением атомно-молекулярного учения.

Начиная от Бойля и Ломоносова, в химию проникают идеи атомистики, получившие свое полное завершение в химической атомистике Дальтона. Экспериментальным основанием последней явились стехиометрические законы, которые убедительно показали прерывистое строение химического вещества. Химическая атомистика, составив-

---

[1] Автором использованы в качестве исходных некоторые положения из монографии В. И. Кузнецова «Эволюция представлений об основных законах химии» (М., 1967), в которой он выступил со своей концепцией химической организации вещества. Под последней подразумевается «система образования частиц вещества — молекул, ионов, свободных радикалов, молекулярных соединений, поверхностных соединений, коллоидных частиц и первичных кристаллов — посредством химических связей».

шая ядро атомно-молекулярного учения, послужила основой теоретической химии. «*Сущность химической атомистики Дальтона состояла в том, что при помощи представления об атомах объяснялись химические отношения, в которых различные вещества реагируют друг с другом и входят в состав химически более сложных веществ*»[1].

Но Дальтон, как указывалось ранее, признавал существование только одной дискретной формы — атома. Исследования Гей-Люссаком (1805) объемного состава воды и процессов соединения газов позволили Авогадро (1811) прийти к выводу о существовании другой дискретной формы — молекулы. Установление и официальное признание (Карлсруэ, 1860) качественного различия между атомами и молекулами, четкое разграничение понятий «атом» и «молекула», из-за неясности определения которых тормозилось развитие химии в течение первых 60 лет XIX в., стало подлинным триумфом атомно-молекулярной теории.

Молекула явилась тем наименьшим количеством простого и сложного вещества, которое вступает в химическое взаимодействие. Стало ясно, что газы состоят именно из молекул, а не из свободных атомов, как считал Дальтон. Химические реакции между газами начинаются с распада их молекул на атомы, взаимно соединяющиеся затем в новые молекулы. Открытие молекулы как отличной от атома степени делимости вещества и установление в то же время характера тесной взаимосвязи между этими частицами явилось важным моментом в учении о прерывном строении вещества. Различие в качественном своеобразии явлений и закономерностей, свойственных атомам и молекулам, стало предельно четким.

Признание атомно-молекулярного строения вещества, однако, было еще недостаточно для полного утверждения дискретности в химии. Ведь в процессах образования химических веществ дискретность выражается в скачкообразном превращении исходных веществ постоянного состава в продукты реакции также постоянного состава, но скачкообразность и эта определенность пропорций обусловлены главным образом способом связи атомов в молекуле. «Если бы даже, — писал Берцелиус, — было в достаточной степени доказано, что тела... слагаются из

[1] Б. М. Кедров. Атомистика Дальтона. М., 1949, стр. 139.

неделимых атомов, то отсюда вовсе еще не следует, что должны иметь место явления постоянных химических пропорций, особенно те, которые наблюдаются в неорганической природе. Для этого необходимо еще знание законов, регулирующих способы сочетания атомов и определяющих границы (т. е. законов о порядке связи атомов в молекуле.— *Н. Б.*), потому что если неопределенное число атомов одного элемента могло бы соединиться с неопределенным же числом атомов другого элемента, то существовало бы бесконечное число соединений, образуемых этими элементами, и разница в количественном составе этих соединений по своей ничтожности не могла бы быть открыта даже с помощью тончайших опытов (т. е. состав соединений был бы непрерывен.— *Н. Б.*). Очевидно, от этих именно законов зависят химические пропорции»[1].

Электрохимическая теория Берцелиуса, тесно связанная с атомистикой, впервые указав на специфическую природу сил химического сродства, объяснила на этой основе особую прочность «сил сцепления» при образовании «сложных атомов» или молекул, т. е. тот фактор, который обусловливает постоянство и кратность химических пропорций в молекуле. Одним из положительных моментов электрохимической теории явилось, таким образом, более глубокое обоснование и утверждение дискретности в химии. Стало совершенно очевидным, что молекулы, как частицы простых и сложных химических веществ, содержат всегда строго определенное число атомов. Этим утверждалась идея постоянства состава химических соединений.

Берцелиус распространил действие стехиометрических законов с неорганических веществ на органические вещества. В них постоянство и кратность в химических пропорциях наблюдается между составляющими частицу атомами и сложными радикалами, которые в ряде превращений переходят из структуры одной частицы в структуру другой без изменения (закон радикалов). Была выяснена также проявляющаяся в процессах химических реакций эквивалентность радикалов как между собой, так и между радикалами и такими атомами, как

---

[1] Berzelius. Lehrbuch der Chemie. B. V. Dresden und Leipzig, 1835, S. 31.

H, Cl, а также группами типа —CN, —OH. Это указывало и на эквивалентность «сил сцепления» между ними, т. е. на эквивалентность межатомных связей при образовании частиц органических и неорганических веществ. Так складывалось представление об общности «единиц сродства», переродившееся в представление о химической связи.

Весьма важным моментом в утверждении идей дискретности в химической организации вещества явилось возникновение понятия валентности. Исследуя состав только что открытых металлоорганических соединений, Э. Франкланд в 1853 г. нашел, что определенный металл соединяется всегда лишь со строго определенным числом органических радикалов. «Независимо от характера присоединяющихся атомов, соединительная сила элементов, притягивающая их к себе, всегда удовлетворяется одним и тем же числом этих атомов» [1]. Следовательно, эта соединительная сила элементов обладает определенной степенью насыщения, определенным количеством сродства или значности. Позднее это было обозначено термином «валентность». Были установлены числа значности, или валентности, для атома каждого элемента, что легло в основу закона валентных отношений.

Наиболее полное завершение идеи о дискретности нашли в теории химического строения и в периодическом законе.

Действительно, ведь основными предпосылками теории химического строения является четкое разграничение понятий о двух главнейших дискретных формах — об атоме и молекуле, последовательное применение принципа «атомности», т. е. валентности, а отсюда построение моделей молекул с учетом обязательного взаимного насыщения единиц сродства. Теория химического строения ввела представление о кратных связях, т. е. о двойных и тройных межуглеродных связях в этиленовых и ацетиленовых соединениях. При этом сам процесс химического превращения рассматривался как замена одного радикала (или атома) на химически эквивалентный ему менее или более сложный радикал или же как разложение молекулы на составляющие ее атомные группы, на основе которых образуются новые молекулы. Реакции присоеди-

---

[1] E. Frankland. Ann. 85, 329 (1853).

нения рассматривались как процессы, идущие с «раскрытием» кратных связей: $H_2C=CH_2+Br_2 \rightarrow BrCH_2-CH_2Br$. Поскольку каждое химическое соединение выражалось молекулой определенного состава и строения, что находило свое отражение в одной строго установленной для него формуле, каждое химическое превращение интерпретировалось посредством полного разрыва одних связей в молекуле и образования других связей (например, $H_2C=CH_2+Br_2 \rightarrow H_2\overset{}{\underset{|}{C}}-\underset{|}{C}H_2+\underset{|}{Br}+\underset{|}{Br} \rightarrow Br-CH_2-$ $-CH_2Br$), т. е. как скачок, как дискретный переход от одного качества к другому.

Открытием периодического закона был сделан еще один шаг в утверждении господства дискретности в химии. Это уже следует из характера самой периодичности, присущей закону. «...Веса атомов, — пишет Менделеев, — не возрастают непрерывно, а лишь скачками, т. е. между двумя соседними элементами (например, К-39 и Са-40 или Al-27 и Si-28, С-12 и N-14 и т. п.) не только нет, но по законам периодичности и кратных отношений (Дальтона) и быть не может переходных промежуточных элементов... Это значит, что периодическая зависимость не может быть выражена какой-либо алгебраической сплошной функцией» [1].

Дальнейшая разработка учения о валентности, объяснение установленной Менделеевым переменной валентности, ее целочисленных значений связаны с изучением внутренней структуры атома. Квантовая теория установила корпускулярный, т. е. дискретный, характер электронов как элементарных частиц; она установила также дискретность энергетического состояния валентного электрона, выражающегося в различии энергетических уровней, или орбит, на которых он находится. Оказалось, что число положительной валентности определяется числом электронов в недостроенной внешней оболочке, а отрицательной — числом электронов, недостающих до заполнения внешней оболочки, чтобы она имела электронную структуру ближайшего по периоду в Менделеевской системе инертного газа.

Периодический закон показал, что положительная и отрицательная валентности элемента целочисленны, валентность элемента всегда изменяется скачкообразно и

---

[1] Д. И. Менделеев. Соч., т. 2, М., 1934, стр. 7.

периодически с изменением его порядкового номера. Позднее стало ясно, что целочисленность валентности, так же как и целочисленность и кратность отношений элементов, образующих химическое соединение, подчинение их законам стехиометрии есть результат прерывного, атомно-молекулярного строения вещества и одновременно следствие дискретной структуры атомов.

Таким образом, классическая химия развивалась преимущественно как химия определенных, стехиометрических соединений. Изучая вещества с позиций атомно-молекулярного учения, рассматривая его главным образом в статическом, т. е. (внереакционном) состоянии, классическая химия неизбежно становилась на крайнюю точку зрения дискретности как состава и строения, так и самих способов образования вещества (скачкообразность). Исторически это было неизбежно. Это являлось объективным следствием определенного этапа в развитии химии, когда основной задачей ставилось изучение вещества как такового. Ибо, как справедливо замечает Энгельс, необходимо было исследовать предметы, прежде чем можно было приступить к исследованию процессов. И лишь только исследование механизма химических процессов выработанными позднее новыми, принципиально иными методами предоставило новые данные и позволило вскрыть более глубокую сущность химической организации вещества.

Открытие химических соединений нестехиометрического состава

Бертолле, как известно, строя свою концепцию о переменном составе химических соединений, относил к их числу растворы, тогда как Пруст считал последние механическими смесями. Позднее ряд ученых Г. И. Гесс, Т. Грэм, Г. Копп, Д. Н. Абашев на основании своих исследований склонялись к точке зрения Бертолле, приходя к выводам, что образование растворов можно рассматривать как химический процесс появления более или менее определенных соединений (гидраты, сольваты), а также и как процесс образования особых, «неопределенных», но все же химических соединений переменного состава. «Силы, действием которых образуются растворы, — писал Д. Н. Абашев, — находятся в чрезвычайно близком соотношении с теми силами, от которых зависит молекулярное состояние тел, кристаллизация, явления капил-

лярные и т. п. Поэтому растворы могут быть названы соединениями молекулярными»[1].

В созданном Д. И. Менделеевым учении о растворах получила дальнейшее развитие химическая интерпретация природы последних. В работе «Исследование водных растворов по удельному весу» (1887), явившейся обобщением огромного эмпирического материала, Менделеев рассмотрел зависимость изменения удельного веса от изменения состава водных растворов более чем 200 веществ (кислород, щелочи, соли, органические соединения и т. д.). На графике такой зависимости для раствора H_2O+SO_3 Менделеев установил «наличие особых точек», переломов и разрывов сплошных прямых линий. Они и означают существование в растворе при строго установленном процентном содержании SO_3 в воде определенного соединения: H_2SO_4; $H_2SO_4 \cdot H_2O$; $H_2SO_4 \cdot 6H_2O$ и т. д. С помощью «особых точек» подобные соединения были обнаружены Менделеевым и в водном растворе этилового спирта ($C_2H_5OH \cdot H_2O$; $C_2H_5OH \cdot 3H_2O$; $C_2H_5OH \cdot 12H_2O$). Все это позволило Менделееву рассматривать растворы как определенные в своей основе химические соединения. Непрерывная же ассоциация и диссоциация сольватов, растворенных как друг в друге, так и в избытке растворителя, и обусловливают переменность состава растворов, которые следует считать не механическими смесями, а химическими системами.

Выводы Менделеева о химической природе растворов и о единстве прерывности и непрерывности применительно к химии растворов в первой четверти текущего столетия послужили Н. С. Курнакову исходным моментом для возрождения идей Бертолле на новом материале химии и физики, для установления более общих закономерностей, чем стехиометрические. К тому времени было разработано учение о химическом равновесии, основанное на законах термодинамики. Этим была подготовлена почва для создания нового метода исследования, с помощью которого и удалось, наконец, разрешить проблему строения химических соединений.

Курнаков признавал обоснованность господствовавшего среди химиков того времени мнения, что постоянст-

---

[1] Цит. по: Ю. И. Соловьев. История учения о растворах. М., 1959, стр. 41.

во состава является главным индивидуальным свойством, определяющим объекты химического изучения. Ибо эта точка зрения опиралась на все имеющиеся до сих пор данные экспериментальной и теоретической химии. Но, по выдвинутому им положению о том, что «в реальной действительности непосредственным начальным объектом химического или, правильнее, физико-химического изучения является *фаза*»[1], для химической характеристики вещества, точного его исследования недостаточно просто установить его химический состав (т. е. соотношение числа атомов различных элементов), как это предполагалось химиками до этого. Кроме химического состава, по заключению Курнакова, необходимы еще знания фазового состава, а значит, более точные сведения о строении вещества, без которых описание фазы не может быть полным.

Курнаков разработал основные принципы нового раздела общей химии физико-химического анализа. Сущность его состоит в исследовании химических превращений посредством «физических и геометрических методов». В основе геометрического анализа химических диаграмм, разработанных Курнаковым, лежат принципы *непрерывности* и *соответствия*. Согласно первому принципу, при непрерывном изменении состава или других факторов равновесия системы (давления, температуры) ее свойства (например, электропроводность, твердость, вязкость и т. д.) изменяются также непрерывно. Отсюда и геометрические образы (графические кривые), отражающие это соотношение, также являются непрерывными. По принципу соответствия каждому химическому индивиду, или фазе переменного состава в системе, отвечает геометрический образ на диаграмме. Кстати, это представляет собой еще один яркий пример прогрессивного значения применения математических методов (геометрических моделей) для успеха научного исследования.

С помощью своего метода Курнаков осуществил количественное определение свойств при последовательном изменении состава исследуемых равновесных систем. При этом он получал графические изображения состояния систем при непрерывно происходящем изменении кон-

---

[1] Н. С. Курнаков. Избранные труды, т. I, стр. 16.

центрации взаимодействующих компонентов. Например, на диаграмме (рис. 15а) отражены соотношения между составом и вязкостью (η) однородной жидкой системы, компоненты которой А и В химически взаимодействуя друг с другом, образуют прочное определенное, постоянного состава соединение A_mB_n (т. е. АВ, AB_2, A_2B_3 и т. д.). На непрерывной кривой диаграммы это отражается в виде появления особой сингулярной, или, как назвал Курнаков, дальтоновской точки. В этой точке (D) состав всегда отвечает стехиометрическому отношению компонентов (А и В) и остается постоянным для всех свойств вещества.

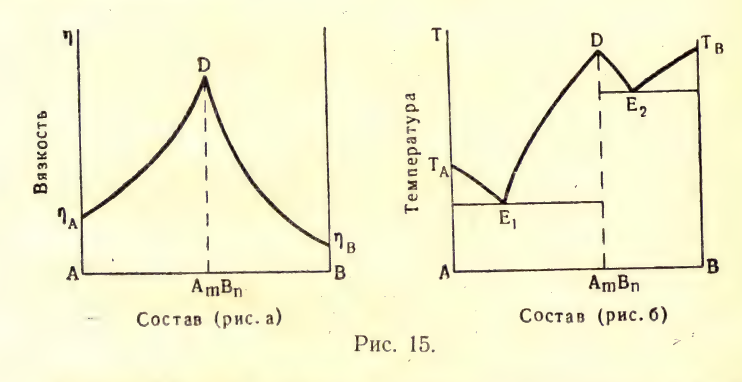
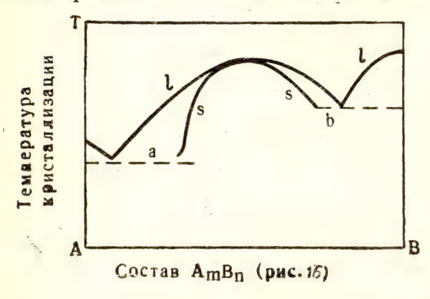


Рис. 15.

Таким образом, состав химического соединения A_mB_n в точке D определяется ее абсциссой. На непрерывной кривой в точках, близких к точке D, дальтонид представляет собой раствор компонента А (слева) и соответственно компонента В (справа) в соединении АВ. В точках, удаленных от сингулярной точки (D), где концентрация соединения АВ незначительна, имеет место раствор этого соединения в избытке — или компонента А (слева) или компонента В (справа). Иначе говоря, все точки на кривой, расположенные по обе стороны от сингулярной точки (D), кроме нее самой, соответствуют образованию растворов или фаз переменного состава, а вся остальная кривая отражает внестехиометрические отношения компонентов А и В как при взаимодействии между собой, так и с дальтонидом АВ. Отсюда и следует вывод Курнакова, что *«не состав фазы характеризует определенное соединение, так как он является вообще переменным, а состав*

сингулярной, или дальтоновской, точки на диаграммах свойств фазы» [1].

Другая диаграмма (рис. 15б), отражающая соотношение между составом и температурой в начале кристаллизации системы АВ, в которой образуется прочное определенное химическое соединение A_mB_n, состоит из трех кривых: T_AE_1, E_1DE_2 и E_2T_B. Эти кривые отвечают соответственно кристаллизации из жидкости трех твердых фаз: компонента А, соединения A_mB_n и компонента В. Состав соединения A_mB_n здесь также регистрируется сингулярной точкой (D).



Состав A_mB_n (рис. 16)

Курнаков установил также наличие систем, когда при взаимодействии А и В образуются соединения, явно неопределенные, например, когда в большом интервале процентных отношений А : В состав A_mB_n обладает переменными значениями m и n (рис. 16). Оказалось, что дальтоновских точек для подобных систем не существует. Переход от компонента А к образовавшемуся соединению A_mB_n происходит не резким, четко фиксированным скачком, а осуществляется постепенно на некотором отрезке кривой. При этом возможно указать лишь начало перехода в другое качественное состояние (точка а) и конец этого процесса (точка b).

К числу таких соединений, не имеющих постоянного состава, Курнаков еще в 1912 г. отнес например, γ-фазу системы таллий-висмут. Состав данной фазы непрерывно изменяется от 55 до 64 атомн. % висмута. При 62,8% висмута и соответственно 37,2 таллия эта фаза имеет максимальную температуру плавления 214,4° С. Исследование γ-фазы (в том числе микроструктуры) показывает, что она в этих пределах изменения состава обладает почти всеми свойствами, которые характерны для типично индивидуального химического соединения. Это вещество является одним из представителей «соединений переменного состава», существование которых и защищал Бер-

[1] Н. С. Курнаков. Избранные труды, т. I, стр. 21.

толле в своем споре с Прустом. Поэтому Курнаков назвал такие соединения *бертоллидами,* специально подчеркнув при этом, что «Бертолле предвидел, что область сплавов доставит нам примеры подобных веществ» [1].

Таким образом, курнаковский физико-химический анализ, т. е. исследование диаграмм состав — свойство, позволяет делать точные научные выводы, «установить характер взаимодействия компонентов, состав и границы существования образуемых ими фаз постоянного и переменного состава, не изолируя этих фаз и не делая их химического анализа» [2]. Это значительно расширило возможности исследования химических превращений и позволило обойтись без зачастую сложного, а иногда и просто практически неосуществимого выделения химических индивидов в чистом виде посредством длительных операций: возгонки, кристаллизации, выпаривания, фильтрования и т. д. Анализ диаграмм состояния дает основу, необходимую для решения вопроса о выборе состава системы (например, твердого сплава, наиболее удовлетворяющего предъявляемым требованиям), а также для установления оптимальных условий проведения технологического процесса.

В итоге своих многочисленных экспериментальных исследований Курнаков пришел к выводу, что дискретность и непрерывность в равновесных системах взаимосочетаются и существуют друг с другом. «Теперь мы можем утверждать, — пишет он, — что приведенные выше системы представляют именно тот общий случай, тот мост, который связывает прерывность свойств определенных соединений с непрерывностью состояний жидких и твердых растворов. По этому мосту *геометрические принципы переходят в химическую науку»* [3]. И далее, цитируя слова Гегеля о том, что «величина непрерывности имеет непосредственно момент дискретности», Курнаков говорит о «приложении диалектического принципа единства противоположностей» к новой теории строения химических соединений.

---

[1] Н. С. Курнаков. Избранные труды, т. I, стр. 22.

[2] «Краткая химическая энциклопедия», т. 5, 1967, стр. 430.

[3] Н. С. Курнаков. Избранные труды, т. I, стр. 134 (курсив мой. — *Н. Б.*).

Курнаков неоднократно подчеркивал, что «особенный интерес представляет изучение их взаимных превращений (соединений бертоллидного типа. — *Н. Б.*) и генетической связи с веществами дальтоновского типа. Так, для многих бертоллидов замечено, что они в известных температурных интервалах разлагаются с выделением определенных соединений (дальтонидов)»[1].

Курнаков не только указал на обширность класса соединений бертоллидного типа, но и прямо считал дальтониды лишь частным случаем бертоллидов. Основным типом химических превращений, по его мнению, являются растворы и вещества переменного состава. К их числу он относил ряд веществ в сплавах Fe с Si, Cu и Ag с Zn, Cd и другими металлами; многие изоморфные «смеси» типа RbCl—KCl, AgBr—NaBr; множество природных минералов на основе силикатов и алюминатов, слюды и роговые обманки, белки — растительные и животные, многие жидкие, в том числе и органические растворы.

Работы Курнакова позволили, во-первых, более глубоко выяснить существо качественных изменений вещества, сам механизм этого процесса, во-вторых, установить наличие двух форм химической организации вещества и характер их взаимосвязи. В результате получили обогащение и дальнейшее развитие представления о химической форме движения, области ее действия. Практически это открыло перед химией большие возможности в получении новых химических соединений (например, твердого состава) с весьма ценными заданными свойствами.

Современные данные физики и химии о дискретности и непрерывности химической организации вещества

Развитие современной химии наглядно показало правоту Курнакова, что «главной категорией нужно считать превращения с непрерывным изменением состава фаз типа растворов (сольватов). Подчиненную первой, частную категорию будут представлять превращения, дающие вещества с прерывным изменением состава фазы, к числу которых принадлежат определенные соединения»[2]. Следовательно, в химических превращениях веду-

[1] Н. С. Курнаков. Избранные труды, т. I, стр. 134.
[2] Там же, стр. 58.

щую роль играет непрерывность. В то же время Курнаков подчеркивал единство, тесную связь и взаимозависимость между дискретностью и непрерывностью химического строения вещества, когда писал, разделяя точку зрения Менделеева на природу растворов, что «можно рассматривать самостоятельно существующие индивидуальные твердые фазы переменного состава (бертоллиды) как определенные соединения в состоянии диссоциации» [1]. В этом отношении особый интерес представляет так называемая химия твердого состояния (металлохимия, кристаллохимия, явления хемосорбции и т. д.).

На основе электронных представлений с помощью квантовой теории современной физике твердого тела и кристаллохимии удалось экспериментально установить, что носителем свойств вещества в твердом состоянии или, иначе, формой существования химического соединения в твердом состоянии, как правило, является не молекула, а реальный монокристалл [2]. В процессе химических реакций с участием твердого тела монокристалл выступает как единая квантово-механическая система [3].

Таким образом, монокристалл является одним из материальных носителей химической формы движения материи. Но как раз формой существования бертоллидов — химических соединений переменного состава — и является не молекула, а фаза, представляющая собой химически связанный огромный агрегат атомов. Законы постоянства состава и простых кратных отношений (стехиометрии) для твердых тел (кроме молекулярных кристаллов) практически неприменимы. Им не подчиняются соединения бертоллидного типа, подобные интерметаллическим соединениям, гидридам, окислам, нитридам, сульфидам и т. д. Эти так называемые бертоллиды в широком смысле не подчиняются также и классической теории валентности; они обладают химической связью между атомами, варьирующей в широких пределах как по энергии (от 2—5 до 100 и выше *ккал/моль*), так и по природе (металлическая, ковалентная и ионная). Следовательно, химия твердого состояния в основном является химией нестехиометрических отношений.

---

[1] Н. С. Курнаков. Избранные труды, т. I, стр. 120.

[2] См.: Ч. Коулсон. Валентность. М., 1965, стр. 326, 331, 341.

[3] См.: Ф. Ф. Волькенштейн. Электронная теория катализа на полупроводниках. М., 1960, стр. 16—20.

За последнее время область соединений переменного состава расширилась за счет включения так называемых поверхностных соединений. Еще в связи с открытием гетерогенно-каталитических явлений в начале XIX в. (работы Тенара, Деви и Дёберейнера) было замечено влияние поверхности твердых тел на активацию химических процессов. Позднее высказывались идеи о том, что взаимодействие реагентов с твердым катализатором носит химический характер. И. Ленгмюр в 1912—1916 гг. своими работами установил, что адсорбция газов и жидкостей на поверхности твердых тел представляет собою образование мономолекулярного или моноатомного слоя. Так, получив моноатомный слой водорода на стекле, Ленгмюр при взаимодействии этого комплекса с молекулярным водородом получил воду $H\ H + O_2 \rightarrow H_2O$.

Аналогичным образом, как показал он, и кислород на вольфраме образует адсорбционный моноатомный слой. На основании этого Ленгмюр сделал заключение о химическом характере связи как между адсорбированным водородом и стеклом, так и между вольфрамом и кислородом. В результате многочисленных исследований он пришел к выводу, что в случае моноатомной и мономолекулярной адсорбции между атомами кристалла (твердого тела) и адсорбированного вещества действуют силы той же природы, что и силы, связывающие атомы твердого тела друг с другом, т. е. с его точки зрения — химические силы.

Позднее адсорбционные явления стали четко различать по двум различным видам: физическая адсорбция посредством сил Ван-дер-Ваальса и хемосорбция с образованием химической связи между адсорбентом и адсорбтивом. В 1931 г. Тейлор установил зависимость скорости хемосорбции от температуры, в известной степени напоминающую зависимость от температуры скорости обычных химических газовых реакций. Это позволило ему сделать вывод о наличии у процессов химической адсорбции определенной энергии активации. Наконец, установление наряду с экзотермической хемосорбцией и эндотермической показало отсутствие каких-либо принципиальных различий между процессами хемосорбции и различными видами химических реакций.

Химия поверхностных соединений — это новый раздел современной химии, охватывающий весьма широкий круг явлений хемосорбции на весьма различных адсорбентах: металлах, окислах, алюмосиликатах, силикогелях, активных углях и т. д. В круг рассматриваемых ею проблем входят многие вопросы электрохимии, коллоидной химии, явлений коррозии, ионного обмена. На основе большого имеющегося экспериментального материала ныне можно считать доказанным, что поверхностные соединения — это настоящие химические соединения, но переменного состава, иначе говоря, это бертоллиды, если понимать под последними химические соединения, которые не подчиняются стехиометрическим закономерностям.

Важным шагом вперед в установлении взаимосвязи соединений, подчиняющихся стехиометрическим закономерностям, с химическими соединениями переменного состава явилось развитие катализа. В этом отношении среди многочисленных теорий каталитических процессов особое значение имеют химические теории катализа. Характерной особенностью последних, указавших на наличие валентного взаимодействия между реагентами и катализаторами, было стремление найти промежуточные соединения (гидриды, окислы, алкоголяты и т. д.), которые определяют механизм стадийно протекающих химических реакций.

Еще Либих (1839) одним из первых высказал мысль, что «каждое соприкосновение двух различных тел вызывает нарушение сродства, так как абсолютная индифферентность в притяжении между разнородными химическими соединениями немыслима», что химическая связь атомов в молекуле изменяется постепенно и, в частности, в результате «соприкосновения с тонко распыленным углем, платиной и бесчисленными другими твердыми телами» [1], которые сами после такого взаимодействия остаются химически неизменными. Либих, следовательно, уже высказывал идею непрерывного химического изменения реагента под влиянием взаимодействия с катализатором. В работах Менделеева, четко отграничившего катализ от некаталитических реакций, эта идея получила окончательное оформление.

---

[1] I. Liebig. Ann. 30, 250 (1839).

Изучение гетерогенного катализа с применением твердых катализаторов позволило сделать вывод, что «формой взаимодействия катализатора с реагентами является *промежуточная хемосорбция»* [1], о подчинении которой стехиометрическим законам не могло быть и речи. И. Ленгмюр, затем А. А. Баландин, Х. С. Тейлор, Э. Ридил и другие экспериментально показали, что при гетерогенном катализе первичным актом является валентное взаимодействие атомов или молекул реагента с поверхностью твердого катализатора. Либиховское положение о непрерывности изменения химического сродства в катализе получило подтверждение.

Таким образом, отношение между твердым катализатором и реагентом стало рассматриваться как химическое взаимодействие. В ходе его молекула дальтонида (реагент) взаимодействует с целым кристаллом катализатора, образуя при этом бертоллидного типа поверхностное соединение.

Следовательно, катализ, по крайней мере гетерогенный, представляет собою явление непрерывной хемосорбции реагентов, связанное с внестехиометрическим участием катализатора, с непрерывным изменением состава образующегося промежуточного поверхностного соединения (бертоллида) и, что весьма важно, совершающееся с непрерывным изменением энергии хемосорбционных связей. Теория хемосорбции послужила основой для создания ряда теорий гетерогенного катализа, устанавливающих важную роль поверхности катализатора, его геометрической и энергетической структуры (мультиплетная теория А. А. Баландина, теория активных ансамблей Н. И. Кобозева, химическая концепция в катализе С. З. Рогинского, Г. К. Борескова, К. В. Топчиевой и т. д.).

Итак, ныне довольно хорошо разработанное учение о катализе раскрывает сущность этого важнейшего природного явления. В основе его лежит химическое взаимодействие дискретной и непрерывной форм химической организации вещества в процессе реакции. Это и приводит к постепенному изменению энергии химической связи, способствует возникновению условий для наиболее

---

[1] В. И. Кузнецов. Эволюция представлений об основных законах химии, стр. 98 (курсив мой. — *Н. Б.*).

выгодного пути преодоления энергетического барьера реакции.

Развитие физической химии и, в частности, таких ее разделов, как учение о растворах и сплавах, о поверхностных соединениях, учение о катализе, о коллоидах, учение о кинетике химических реакций, необычно расширило круг химических соединений переменного состава, раскрыло всю важность их значения для понимания сущности химической формы движения.

Что же является физической основой дискретности и непрерывности химической организации вещества? Ответ на этот вопрос дало развитие новейшей физики, изучение строения атома и элементарных частиц и прежде всего установление двуединой корпускулярно-волновой природы электронов. Последние, как оказалось, есть одновременно и дискретные частицы, и непрерывные волны. У электрона как корпускулы квантованы некоторые свойства: энергия, момент количества движения вокруг ядра, собственный момент количества движения (спин) и др., и в то же время его заряд рассредоточен в виде непрерывного облака. Аналогично двуедиными свойствами обладают и атомы и молекулы. Разграничение между корпускулярными и волновыми свойствами не абсолютно, а относительно, т. е. для одних свойств в большей степени характерна дискретность, для других — непрерывность.

Когда электроны проявляют преимущественно корпускулярные свойства, выступают как целые частицы (полное удаление из атома или присоединение), то переход от атома к атому или от атома к иону и наоборот осуществляется как дискретный акт. Когда же образуется сложная система межатомных связей (образование соединения), то ведущую роль играют уже волновые свойства электрона (образование единого электронного облака молекулы). Корпускулярные свойства электрона особенно наглядно проявляются в периодической системе, в частности, в резком дискретном переходе от элемента к элементу как в периодах и рядах, так и в группах. Такое свойство, как валентность атома элемента (как показатель возможности образования им определенного числа химических связей), определяемая целым числом электронов (валентных), также дискретно. Волновые же свойства валентных электронов обусловливают

собственно химизм, образование межатомных химических связей. Таким образом, *химическое взаимодействие осуществляется в соответствии с принципом непрерывности.* Непрерывность проявляется в явлениях постепенного перехода между ионной и ковалентной связью; в отсутствии резких, абсолютных границ между этими двумя типами связи; в существовании особого типа так называемой водородной связи, которая рассматривается как «незавершенный» переход протона; в наличии «слабых» и «прочных» связей, непрерывно взаимопереходящих друг в друга; в возникновении единого молекулярного облака в результате обобщения валентных электронов, образующих ковалентные связи в поле двух и более ядер; в энергетической выгодности образования многоцентровых связей; наконец, в возможности непрерывного перемещения электронной плотности со связи на связь и т. д.

Таким образом, все особенности химической формы движения материи обусловливаются двойственной (корпускулярной-волновой) природой микрочастиц и, в частности, валентных электронов. От этого зависит характер образуемой ими химической связи, непрерывность химического взаимодействия. Идея единства дискретности и непрерывности химической организации вещества, взаимосвязи дальтонидов и бертоллидов — идея, которая пробивала себе дорогу в химии в течение полутора веков, — имеет теперь, следовательно, прочное физическое обоснование.

Теоретическое и философское значение идеи о дискретности и непрерывности химической организации вещества

Открытие и экспериментальное исследование химических соединений нестехиометрического состава, установление их связи с веществами постоянного состава, выяснение в дальнейшем физической основы дискретности и непрерывности химической организации вещества привели к важным теоретико-познавательным выводам. Они следовали уже из работ Курнакова, имеющих также и большое практическое значение. Эти выводы утверждали диалектическую точку зрения на природу химических соединений. Действительно, если допустить, что состав химических соединений только непрерывен, как это делал Бертолле, то закрывается путь

к познанию многих миллионов тех конкретных химических соединений, которые обладают молекулярной формой (а значит, и химической формой движения в целом). Ибо непрерывное объективно существует и проявляется лишь в прерывном и познается через прерывное. И наоборот, если считать, что состав химических соединений лишь прерывен, неизбежно придется ограничиться лишь познанием молекул, признавая их неподвижными, устойчивыми, тождественными самим себе. Это закрывает путь к познанию существа химических изменений, природы химической связи, т. е. в конечном итоге приводит к выводу о невозможности познания химических превращений.

Доказав двойственный характер строения химических соединений, Н. С. Курнаков как материалист-диалектик сделал и необходимые философские выводы, подчеркнув единство этих противоположных моментов, их неразрывную взаимосвязь. «...Именно принципу непрерывности, — писал он, — отныне суждено защищать незыблемость закона постоянства состава и дать точную геометрическую характеристику разрывов при образовании определенных химических соединений» [1].

В результате более глубоко раскрылось существо и определилась область действия химической формы движения, механизм химического изменения. Сам химический процесс предстал как процесс, представляющий собою диалектическое единство дискретности и непрерывности. Это, естественно, не может не учитываться и при определении предмета химии.

Совершенно очевидно, что теперь определять химию как науку только о молекулах, их структурах и свойствах — значит искусственно сужать область химических явлений, практически сводить химию к изучению дальтонидов, представляющих собою лишь один из видов химических соединений. Определение химии как науки, изучающей превращения веществ путем взаимодействия (и полновалентного, и неполновалентного) между атомами и образования в связи с этим химических соединений постоянного или переменного состава, более точно и отвечает данным современного химического экспериментального материала.

---

[1] Н. С. Курнаков. Избранные труды, т. I, стр. 37.

Если говорить о материальных носителях химической формы движения, то в свете всего вышеизложенного в число их наряду с молекулами, ионами, радикалами следует также включать различные δ- и π-комплексы, макромолекулы, коллоидные частицы, частицы поверхностных соединений и монокристаллы твердого тела, а также и другие частицы, могущие быть открытыми в дальнейшем и представляющие из себя, как это указывалось в главе первой, целостные (единые) квантово-механические системы.

В связи с получением новых структурных данных, свидетельствующих о переменном, а следовательно, и нестехиометрическом составе многих химических соединений, получает уточнение область применимости законов стехиометрии. По мнению советского физико-химика Б. Ф. Ормонта, для правильной характеристики применимости этих законов необходимо учитывать *агрегатное состояние фазы.*

В связи с этим закон постоянства состава с точки зрения Ормонта целесообразно сформулировать так: «Если соединение имеет в данном агрегатном состоянии молекулярную структуру (пар, молекулярный кристалл и т. п.), то его химический состав (состав молекул) при данном изотопном составе исходных простых веществ остается одним и тем же, независимо от метода получения. Если же в данном агрегатном состоянии соединение не имеет молекулярной структуры, то в зависимости от строения атомов и вытекающего отсюда строения фазы и характера химической связи в ней состав соединения и его свойства могут сильно зависеть от путей синтеза. Даже при одном и том же составе свойства могут сильно зависеть от условий образования» [1].

Соответственно закон кратных отношений должен получить следующую формулировку: «Если два элемента образуют между собой несколько соединений, имеющих молекулярную структуру (пар, молекулярные кристаллы и т. п.), т. е. более общеподчиняющихся закону постоянства состава, то весовые количества одного элемента, соединяющиеся с одним и тем же весовым количеством

---

[1] Б. Ф. Ормонт. Соединения переменного состава. М., 1967, стр. 33.

другого, относятся друг к другу как небольшие целые числа (N_2O, NO, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5).

Если же все или только некоторые из этих соединений не имеют молекулярной структуры, то количества одного элемента, соединяющиеся с одним и тем же количеством другого, могут относиться между собой как дробные числа (например, в окислах титана: $TiO_{0,7-1,3}$; $TiO_{1,46-1,56}$; $TiO_{1,7-1,8}$; $TiO_{1,9-2,0}$ и т. п.)»[1].

Как видим, большую роль играют условия, которые ограничивают действие законов стехиометрии. Они, следовательно, являются предельными законами в том смысле, что, например, подобно закону Бойля-Мариотта или закону Рауля о давлении компонента над раствором, действуют лишь в определенных пределах. Законы стехиометрии являются лишь частным случаем более широких законов. Они, по-видимому, относятся к законам для соединений переменного состава, так же, например, как законы классической физики (Ньютона) к законам квантовой механики. Стехиометрические законы — эти фундаментальные законы химии, являющиеся опорой атомистических воззрений, — были и остаются действительными лишь для газообразного и парообразного состояния вещества и соблюдаются также в кристаллах, имеющих молекулярное строение (например CCl_4, C_nH_{2n+2} и т. д.).

Классическая формулировка стехиометрических законов не принимала во внимание агрегатного состояния. Соединением считалось вещество, образованное разнородными атомами и имеющее состав, который подчиняется законам постоянства состава и кратных отношений. Наименьшее количество соединения при этом представлено одной молекулой. Молекулы рассматривались как кирпичики, из которых слагается вещество в любых агрегатных состояниях. Вопреки этому накапливаемый годами экспериментальный материал химии показал, что для правильной характеристики строения и свойств веществ совершенно недопустимо отвлекаться от их агрегатного состояния. В химии известно немало случаев, когда в кристаллическом состоянии молекул нет, хотя данное вещество в парообразном состоянии состоит из молекул. Так, пятихлористый фосфор в парообразном со-

---

[1] Б. Ф. Ормонт. Соединения переменного состава, стр. 33.

стоянии имеет молекулярное строение, а в кристаллическом состоит из ионов — $[PCl_4]^+$ и $[PCl_6]^-$.

При рассмотрении очень многих твердых веществ, и в первую очередь кристаллов, разговор о молекулах лишен конкретного физического смысла, и напротив, вполне реальный смысл приобретают свойства огромного числа атомов (ионов), близкого к числу Авогадро. В этих случаях уже не молекула, а фаза является реальной формой существования соединения в немолекулярных кристаллах. Именно это вызвало необходимость уточнения и углубления основных законов химии.

Эволюция представлений об основных законах химии наглядно иллюстрирует положение В. И. Ленина о том, как из суммы относительных истин в их развитии складываются абсолютные истины. Наши знания о характере химической организации вещества, о постоянном и переменном составе химического соединения все время уточняются и углубляются. Определенность состава, подчинение его законам стехиометрии до недавнего времени считалось основным признаком и привилегированной особенностью химических соединений. Но развитие современной химии привело к выводам, устанавливающим частный характер действия этих законов. Не исключена возможность, что дальнейшее расширение диапазона условий приведет к еще большему уточнению и углублению области действия законов стехиометрии. Однако как в современной трактовке, так и в любой другой будущей формулировке этих законов сохранится рациональное зерно, момент абсолютной истины — постоянство состава при определенных условиях.

Выводы, сделанные на основе результатов физико-химического анализа, имеют и важное философское значение. Они послужили одним из источников обоснования и дальнейшего развития учения научной философии о единстве прерывного и непрерывного в структуре материи, позволили раскрыть конкретный характер проявления некоторых всеобщих диалектических закономерностей и принципов в химических процессах и явлениях.

Историей развития учения о химической организации вещества убедительно была подтверждена правильность положения В. И. Ленина, что раздвоение единого и познание противоречивых частей его есть суть диалектики. В открытии постоянства и переменности химического со-

става, в прерывности и непрерывности изменения последнего нашли свое отражение историзм и противоречивость развития самого человеческого познания.

Действительно, первоначально в соответствии с экспериментальным и теоретическим уровнем развития химии ученые установили и исследовали лишь одну сторону вещества — прерывность его химической организации. Вторая сторона — непрерывность химической организации вещества — или отвергалась совсем, как якобы противоречащая атомистическим воззрениям и не подтвержденная экспериментально, или метафизически абсолютизировалась и противопоставлялась первой.

Лишь в дальнейшем, на более высокой теоретической и экспериментальной базе, на основе диалектического мышления, познание ученых, пройдя процесс раздвоения единого на взаимопротивоположные стороны, пришло к установлению их единства. Был раскрыт конкретный характер диалектики дискретной и непрерывной форм химической организации вещества. Общий принцип отношения прерывности и непрерывности в структуре материи, как известно, сформулирован еще Энгельсом. «Дискретные части различных ступеней (атомы эфира, химические атомы, массы, небесные тела) являются различными *узловыми точками,* которые обусловливают различные *качественные* формы существования всеобщей материи»[1]. Таким образом, бесконечно разнообразные дискретные формы есть лишь звенья единой цепи, великой универсальной связи материального мира, и вне этой связи существование их немыслимо. В этом состоит непрерывность. Она, однако, реализуется лишь в связи и взаимодействии отдельных дискретных форм. В этом отношении «бертоллиды, — пишет Б. М. Кедров, — представляют собой наглядный пример единства прерывности и непрерывности химических изменений; в макроструктурном отношении они ведут себя как вещества с непрерывно меняющимся (в известных пределах) составом; одновременно в микроструктурном отношении они образуются как результат взаимодействия атомов, т. е. дискретных частичек вещества». И дальше: «Подобное же единство и переход противоположностей обнаруживают и дальтониды, если только их рассматривать не статиче-

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 608—609.

ски, не изолированно, а динамически, в процессе их образования, прослеживая всю цепь физико-химических взаимодействий, начиная от чистых компонентов, где химическая реакция еще не начиналась, и кончая данным химическим соединением, где она уже полностью закончилась. При таком рассмотрении, когда вещество берется в связи с химической реакцией, в результате которой оно образуется, его положение в равновесной системе характеризуется разрывом сплошности, дискретной точкой, которая представляет узел, где постепенные количественные изменения состава и свойств путем скачка переходят в качественные» [1].

Прерывность и непрерывность, единство этих противоположностей особенно наглядно проявляется в количественных и качественных изменениях. Процесс развития, движения как всякого изменения вообще объективно характеризуется скачкообразным способом перехода из одного состояния в другое. Качественные изменения, следовательно, являют собой «перерыв постепенности» и раскрывают развитие с прерывной стороны. Момент непрерывности представляет медленные, постепенные количественные изменения. Из неразрывной взаимосвязи количественных и качественных изменений, отраженной в одном из основных законов диалектики, вытекает и обязательное единство прерывного и непрерывного. Лишь одно непрерывное состояние материи исключало бы скачкообразные изменения ее свойств, и наоборот, только одно дискретное строение сделало бы невозможным взаимодействие структурных элементов, т. е. процессов развития материальных объектов и, следовательно, образования все более сложных форм.

Единство прерывности и непрерывности структуры, процессов развития очень наглядно раскрывается в самом скачке. Действительно, скачок как момент перехода от одного качественного состояния к другому характерен, с одной стороны, разрывностью, изменением, с другой — сохранением, преемственностью. Но скачки по форме своей, как известно, различны. В скачках мгновенных, резких, одноактных на первый план выступает прерывность,

[1] Б. М. Кедров. О постоянстве и переменности химического состава. «Известия сектора физико-химического анализа», т. XVI, вып. 4. М.—Л., 1948, стр. 29—30.

дискретность. Это и показывают многие реакции в химии, в особенности цепные реакции со свободнорадикальным механизмом. В скачках медленных, многоактных, когда переход в новое качество осуществляется в виде постепенного изменения, ведущей стороной выступает непрерывность. Весь качественный переход в последнем случае как бы состоит из большого числа более мелких качественных изменений. Отсюда выражение Энгельса: «...в природе нет скачков *именно потому*, что она слагается сплошь из скачков» [1]. Испарение жидкости или изменения на диаграмме состав — свойство многих сплавов и растворов переменного состава (бертоллидов) убедительно подтверждают это. Непрерывность, следовательно, сплошь и рядом основывается на большом числе дискретных явлений. Так законы и принципы научной философии, учение о единстве прерывности и непрерывности в строении материи находят свое непосредственное и конкретное действие и выражение при рассмотрении важного вопроса химии о составе и свойствах химических соединений, в дискретности и непрерывности химической организации вещества, в диалектике отношения этих сторон. Это яркий пример связи конкретной науки с философией, образец необходимого и плодотворного их взаимодействия в процессе познания.

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 586.

Глава восьмая

КАТЕГОРИИ ДИАЛЕКТИКИ В ХИМИИ

Всеобщность, применимость категорий диалектики к различным телам и явлениям природы, общества и мышления обусловливает использование их в любом научном исследовании. Успех исследования зависит от конкретного учета специфики определенных сторон и связей, свойственных данным качественно определенным материальным образованиям и процессам, например химическим веществам и их превращениям. Но раскрытие особенностей проявления и действия формы и содержания, сущности и явления, случайности и необходимости, возможности абстрактной и реальной и т. д. в веществах и явлениях химической формы движения возможно лишь средствами и методами самой химии. Поэтому пользование общими методологическими принципами, выработанными философией, в том числе и категориями, для анализа и объяснения химических проблем и явлений необходимо требует хорошего знания конкретного материала, понятий, законов и теорий химической науки.

Различные взаимосвязи и отношения тел и явлений, их внутренних сторон отражаются разными категориями. Каждая из категорий отражает лишь отдельную сторону химического вещества, процесса, явления. Но так как все стороны связаны между собой, то общее представление о химических веществах и явлениях возникает лишь при изучении взаимосвязи всех категорий; поэтому только «*бесконечная* сумма общих понятий, законов *etc.*, — как заметил В. И. Ленин, — дает *конкретное* в его полноте» [1].

Применение категорий при исследовании вещества,

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 252.

химического процесса, явления дает истинное, глубокое и всестороннее знание. К этому приводит, например, установление содержания и форм существования вещества, явления, их структуры и связи ее со свойствами; выяснение необходимых и случайных связей и т. д. Все это помогает познать сущность химического вещества, явления, дает «конкретное в его полноте».

Только при этих условиях, руководствуясь общими принципами взаимоотношения сторон и явлений, выраженных в категориях материалистической диалектики, возможно планомерное научное исследование. Важное методологическое значение категорий заключается в том, что изучение, например, отдельных, единичных химических свойств, фактов и явлений ведет к установлению общего, выработке научного понятия, открытию закона; раскрытие диалектики сущности и явления показывает путь получения нового знания, процесс движения ко все более глубокому и адекватному отражению истины; анализ взаимоотношений структуры и свойств вещества, взаимосвязи возможности абстрактной и реальной позволяет выяснить действующие при этом особые закономерности и с их помощью устанавливать различные конкретные формы, стадии и этапы возникновения и развития изучаемых веществ и реакций, присущие им свойства, связи и взаимопереходы.

Диалектика единичного, особенного и общего

Бесконечно разнообразие химических веществ и явлений, существующих в пространстве и времени. Через эти конкретные разнообразные вещества проявляется материя, бесконечно развивающаяся в пространстве и времени. Каждое индивидуальное, отдельное вещество неисчерпаемо в своей сущности и связях, обладает своим качеством, размерами, строением, неповторимым сочетанием свойств. Так, элемент хлор имеет свой атомный вес — 35,5. При обычных условиях это газ желтовато-зеленого цвета, резкого, удушливого запаха. Он одновалентен, молекула его состоит из двух атомов, хлор легко сжижается, плохо растворим в воде, химически очень активен, соединяется почти со всеми металлами и неметаллами, хороший окислитель и т. д. Хлор как химический индивид представляет собой отдельное, а каждое из его различных свойств, черт, сторон есть единичное.

Однако среди свойств хлора есть и такие, которые характерны для более широкого круга химических элементов. Одновалентными, химически активными, хорошими окислителями являются также, например, фтор, бром, йод. Поэтому они, включая хлор, выделены в единую группу — галогенов. *Это особенное.* Оно шире единичного, обладает рядом специфических, общих для *данной группы* веществ свойств.

В то же время у отдельного — хлора, кроме единичного и особенного (галогены), есть ряд черт, свойств, сторон, носящих еще более широкий характер. Атомным весом и валентностью обладают все элементы. Атомные структуры у них также в принципе одинаковы: имеется протонно-нейтронное ядро, окруженное электронной оболочкой, при ядерных реакциях возникают, взаимопревращаются одни и те же элементарные частицы. Подобная широкая общность свойств служит основой для взаимопревращения элементов. Она обусловливает возможность участия атомов всех элементов в разнообразнейших реакциях. *Это общее.* Оно присуще всем химическим элементам, неисчерпаемому множеству химических соединений.

Значит любой химический объект, явление обладает как единичными признаками, так и чертами особенного и общего. В этом выражается не только противоположность, но и единство единичного, особенного и общего. Для их взаимоотношения характерно то, что особенное выступает как общее по отношению к единичному и в то же время является единичным по отношению к более широкому общему.

В современной философской литературе понятие единичного и общего имеют различное толкование. Одни авторы единичное отождествляют с отдельным, самостоятельно существующим предметом, явлением, а общим называют соответственно группу, класс предметов, характеризуемых общими для них признаками[1]. Другие философы единичное и общее рассматривают лишь как различные стороны, моменты или сущности самостоятельно существующего во времени и пространстве мате-

---

[1] См.: «Основы марксистской философии». М., 1964, стр. 170; «Категории материалистической диалектики». М., 1956, стр. 280.

риального образования — отдельного[1]. С этих позиций отдельное выступает как конкретная форма существования бесконечно развивающейся в пространстве и времени материи, а единичное и общее — как неразрывно связанные, находящиеся в диалектическом единстве объективные стороны отдельного.

Последний взгляд, как нам представляется, более точно и последовательно толкует сущность и диалектику единичного и общего. Единичное и общее не существуют самостоятельно и независимо от отдельного, и в этом плане рассматриваемые понятия не являются тождественными, так же как не являются тождественными предмет и его какое-либо свойство или часть и целое. Именно отдельное содержит в себе не только единичные черты и свойства, но выступает также и как общее. В. И. Ленин писал, что «отдельное не существует иначе как в той связи, которая ведет к общему. Общее существует лишь в отдельном, через отдельное»[2]. Всякое общее, как правило, выражает лишь частичку, но самую сущность отдельного. Поэтому отдельное неполно, оно входит в общее не всем разнообразием своих специфических индивидуальных единичных свойств, а лишь основными чертами. Отдельное богаче, разнообразнее общего, но последнее глубже.

Каково же место особенного в системе отношений единичное — общее? Тогда, когда единичное свойство становится специфической, отличительной чертой группы однопорядковых веществ или процессов, например, химических веществ одного класса (кетоны, альдегиды, спирты, кислоты и т. д.) или реакций одного типа (окислительно-восстановительные, полимеризации и т. д.), единичное выступает как особенное. Но это означает, что особенное свойство есть и общее, поскольку оно является отличительным для *ряда* определенных групп, классов химических веществ и реакций. В отличие, однако, от такого общего, которое характерно для всех химических веществ (атомное строение) или реакций (равенство веса исходных реагентов весу полученных продуктов), особенное есть *менее* общее. Таким образом, общее может

---

[1] См.: А. П. Шептулин. Система категорий диалектики. М., 1967, стр. 200.

[2] В. И. Ленин. Пол. собр. соч., т. 29, стр. 318.

выступать как особенное. Но есть определенный вид общего, такое предельно общее, которое присуще не только химическим веществам, но и всем материальным образованиям (структурность, способность к какому-либо виду взаимодействия, наличие качественной и количественной определенности, существование в пространстве и времени и т. д.), — *это всеобщее*. Оно уже не выступает как особенное.

Как видно, для взаимоотношений единичного, особенного и общего характерно, что каждое единичное при определенных условиях может выступать как особенное. Общее же для широкой, но ограниченной (однопорядковой организации материальных структур) группы материальных образований есть особенное или менее общее по отношению к предельно широкому общему — всеобщему. Особенное, таким образом, лишь промежуточная ступень, связующее звено между единичным и общим.

Принципиальное решение вопроса о диалектике единичного, особенного и общего указывает путь познания, движения мысли от конкретного, единичного свойства, стороны предмета, явления к установлению общего. «... Всякое действительное, исчерпывающее познание заключается лишь в том, что мы в мыслях поднимаем единичное из единичности в особенность, а из этой последней во всеобщность»[1]. Установление общего — одна из важнейших целей научного познания, ибо «форма всеобщности в природе — это *закон*» [2], т. е. закон всегда выражается в общем, через общее, при помощи общего. В этом заключается гносеологический смысл познания общего.

Исторический процесс познания и попытки классификации химических элементов и их соединений на основе схожих свойств особенно наглядно подтвержают это положение. Первоначально открываемые простейшие вещества группировались по отдельным химическим элементам, обладающим теми же свойствами. Число таких групп постоянно росло, ибо росло число открываемых элементов. Это был первый этап познания в химии, познания отдельного через познание единичного, путем живого созерцания, непосредственного воздействия свойств

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 548.
[2] Там же, стр. 549.

и качеств конкретных элементов и их соединений на органы чувств человека и возникновения на этой основе соответствующих ощущений, восприятий и представлений.

По мере накопления эмпирических фактов, открытия химических элементов познание поднялось на новую, более высокую ступень. Элементы (отдельное) стали пытаться классифицировать, объединять по некоторым общим (особенным) признакам в более широкие группы. Лавуазье и его последователи впервые разделили все химические элементы по их отношению к кислороду на металлы и неметаллы. Постепенно стали определяться естественные группы, объединяющие элементы с аналогичными основными химическими свойствами, например, группа щелочных металлов, серы, фосфора и т. д. Это уже были попытки установить особенное на основе выделения свойств, присущих атомам ряда химических элементов.

Во второй половине XIX в. химики приступили к широкому поиску единого общего, объединяющего все химические элементы. Общеизвестны в этом отношении попытки Ньюландса, Доберейнера и других ученых. Однако только Д. И. Менделеев выделил такое общее свойство и выразил его в форме периодического закона. Открытием последнего завершился важный этап движения познания от единичного к общему в области изучения химических элементов.

Но установление закона — это не окончательная цель научного познания. Знание законов природы, в том числе и химических, необходимо, поскольку они являются основой «*целесообразной* деятельности человека»[1]. Это совершается в процессе обратного движения от установленного общего вновь к особенному и единичному. Так, Д. И. Менделеев на основе закономерной связи атомного веса как основной, общей и определяющей характеристики всех элементов с их химическими свойствами не только объединил все известные в то время элементы в единую систему, но и объяснил то, что присуще специфическим группам элементов (галогены, группа железа, подгруппа серебра и т. д.), т. е. особенное, и что присуще отдельным элементам, т. е. единичное. «Однако при изу-

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 169.

чении свойств элементов, — писал Д. И. Менделеев, — имеющих целью практические выводы или химические предсказания, нужно обращать одинаковое внимание как на общие свойства группы, к которой принадлежит данный элемент, так и на его индивидуальные особенности»[1].

Положение материалистической диалектики о неисчерпаемости материи, о постоянном и бесконечном познании, углублении в сущность объясняет относительный характер общего и формы его выражения — закона. Так, после открытия явления радиоактивности и дальнейшего проникновения в строение атома уточнилась и углубилась сущность общего, а значит, и самого периодического закона. Ныне за исходное общее при объяснении свойств химических элементов принимается заряд ядра атома элемента или его порядковый номер в периодической системе. Таким образом, познание движется от единичного (конкретного) к особенному и далее к общему (научной абстракции), к установлению закона, затем обратно, исходя из общего, к объяснению и уточнению особенного и единичного.

Знание общего (закона), его связи с единичным открывает возможность для научного предвидения. Оно является необходимым условием для целеустремленного исследования, успешного развития науки. Блестящий пример этому — открытие Леверье, который, опираясь на закон всемирного тяготения, предсказал существование неизвестной до этого планеты Нептун. Максвелл, исходя из учения об электромагнитном поле и закона индукции, предсказал существование электромагнитных волн. А. М. Бутлеров предсказал число изомеров многих органических соединений на основании закона химического строения вещества.

Сущность и явление

Всем телам и явлениям присущи определенные внутренние и внешние свойства, признаки, стороны, связи и отношения. Характеризуя тела и явления, они являются в то же время различными по своему значению. Одни свойства, связи, отношения — коренные, глубокие, относительно устойчивые. Они лежат в основе тел и явлений, определяют их природу, существование и развитие, внут-

---

[1] Д. И. Менделеев. Избр. соч., т. 2, 1934, стр. 165.

ренне необходимы для них. Другие — внешние, неустойчивые, зависят от первых, легко изменяются с изменением условий. Внутренние устойчивые стороны, свойства и связи, определяющие развитие тел и явлений, составляют их сущность. Проявление сущности во вне, форма внешнего ее выражения есть явление.

Сущность тел и процессов, как правило, скрыта, недоступна непосредственному наблюдению, живому созерцанию. Однако через явление она выступает на поверхность и может быть воспринята органами чувств и с помощью приборов. Сущность электрического тока как движения электронов, глубокие взаимосвязи электрических явлений с другими явлениями, например с химическими, выражаемые законами О. Фарадея, Д. П. Джоуля-Ленца, были раскрыты путем длительного изучения многих конкретных единичных явлений, доступных наблюдению и опыту, таких, как нагревание проводников, электролиз, электрический разряд при соприкосновении заряженных тел, свечение газов при пропускании тока, и т. д. Наблюдение и изучение броуновского движения, давления газов на стенки сосудов, явлений теплообмена и связанных с температурными изменениями переходов веществ из одного агрегатного состояния в другое привели к раскрытию сущности молекулярного движения. Из этого следует, что сущность служит единой основой для ряда взаимосвязанных явлений. В различных условиях сущность проявляется по-разному, выражая себя в том или ином явлении.

Познание химического вещества, его свойств, строения начинается обычно с изучения путем наблюдения и опыта простейших внешних доступных органам чувств свойств, сторон и связей: цвета, вкуса, запаха, растворимости в воде, определения кислотности или основности, проведения простейших частных реакций с другими веществами и описания их результатов. Наблюдение, как правило, предшествует теоретическим выводам. Изучение явлений, следовательно, является исходным пунктом познания химических веществ и процессов.

Начиная изучение химического вещества с явления, химик, однако, уже в самом начале делает предположение (строит гипотезу) о его сущности. Опираясь на это предположение и на основе его химик в известной степени уже целеустремленно ведет наблюдение и собирает

опытные данные, факты. Таким образом, задача химика-исследователя состоит в том, чтобы исходя из явлений и через явление проникнуть в сущность изучаемого химического вещества (процесса), т. е. проверить справедливость своего предположения. Принципиально это возможно. Ибо, как утверждает научная философия, сущность и явление неразрывны, органически связаны между собой, находятся в диалектическом единстве. Явление содержит сущность как свою основу, а сущность обнаруживает себя в явлении. По выражению В. И. Ленина, «сущность является. Явление существенно» [1].

Трудность на пути раскрытия сущности химического объекта заключается в том, что только непосредственного наблюдения одного явления, как правило, недостаточно. Действительно, химик, определяя природу некоторого жидкого вещества, проводит с ним ряд реакций, в частности, взаимодействия с такими, например, металлами, как алюминий или цинк. При этом наблюдается явление растворения металла. Сделать, однако, только на основании этого заключение, что исследуемая жидкость — кислота, было бы необоснованно, так как эти металлы растворяются и в щелочах. Явление, следовательно, богаче и разнообразнее и в том смысле, что оно зачастую отражает свойство, которое характерно не только для сущности данного вещества, но и для соединений другой химической природы, т. е. других сущностей. Единичное явление, следовательно, имеет другие, побочные связи, второстепенные по отношению к данной сущности. Последнюю явление выражает не всю, а только один какой-то ее момент.

Несовпадение явления и сущности объясняется также и тем, что сущность как общее в свою очередь не полно охватывает отдельные явления. Многие особенности и свойства конкретных предметов сущность не выражает. Известно, что каждая химическая реакция сопровождается поглощением или выделением теплоты, выпадением осадка различных кристаллических структур и форм, образованием жидкой фазы или выделением газообразного компонента, изменением окраски, зачастую специфическим запахом и т. д. Однако это многообразие особенностей, сопровождающих каждую химическую реакцию,

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 227.

исчезает, когда мы говорим о сущности. Сущность заключается в разрушении и образовании связей между атомами и атомными группами, в изменении на этой основе состава, структур и соответственно свойств реагирующих веществ.

Таким образом, сущность, хотя и обнаруживает себя во вне, в единичных явлениях, она не лежит на поверхности этих явлений. Поэтому Маркс пишет: «... если бы форма проявления и сущность вещей непосредственно совпадали, то всякая наука была бы излишня»[1]. Именно здесь и играет решающую роль теоретическое мышление, которое, опираясь на данные органов чувств, наблюдения, опыт, за этим многообразием явлений открывает их внутренние, глубинные связи, т. е. сущность. Лишь в результате этого становится возможным научное объяснение самих явлений.

Познание сущности тела, явления человеком представляет из себя процесс бесконечного углубления «от явления к сущности, от сущности первого, так сказать, порядка, к сущности второго порядка и т. д. *без конца*»[2]. Весьма наглядной в этом отношении является история возникновения и развития одного из важнейших понятий химии — понятия валентности, отражающего процесс познания и все более глубокого раскрытия строения химических соединений и сущности химической связи.

Как известно, Франкланд (1853) впервые экспериментально установил свойство атомности, или «значности», выраженное позднее термином «валентность» (от латинского valentia — сила). Ныне под этим понимается «свойство атома данного элемента присоединять или замещать определенное число атомов другого элемента»[3]. В познании строения химического соединения это было раскрытие сущности первого порядка, нашедшее свое отражение в образовании понятия «валентность». Основанное на атомистических представлениях, это понятие позволило объяснить многие экспериментальные факты, касающиеся состава и строения соединений, глубже понять сущность закона кратных отношений, предвидеть ряд других фактов, также подтвержденных в последующем. С уточ-

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 25, ч. 2, стр. 384.
[2] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 227.
[3] «Краткая химическая энциклопедия», т. I, стр. 510.

нением и введением общеупотребительных атомных весов были установлены валентности почти всех элементов.

Большую роль понятие валентности сыграло в создании теории химического строения. Химические связи, их порядок между различными атомами в молекуле Бутлеров символически обозначил черточками. Число их означало валентность атома данного элемента. Применение на практике представлений о химическом строении означало большой шаг в познании сущности химических веществ и привело, как известно, к небывалому в то время расцвету органической химии. Существование валентности уже не вызывало сомнения. Однако утверждение этого понятия еще было в известной степени формальным, поскольку характер валентных сил, природа химического сродства, а значит, и тайна валентного штриха оставались в то время еще не раскрытыми.

Новый этап в познании более глубокого порядка сущности химических веществ связан с открытием периодического закона. Это нашло свое отражение в дальнейшем развитии и углублении понятия валентности. До этого многие ученые (Кекуле, Вюрц и другие) считали валентность элемента в химических соединениях постоянной и неизменной. Вюрц, например, первоначально предполагал, что хлор всегда только одновалентен. Менделеев показал, что его валентность меняется. Она качественно различна в соединениях элемента с водородом и с кислородом. Так, Cl в HCl одновалентный, отрицательный, а в Cl_2O и Cl_2O_7 соответственно одно- и семивалентный, положительный.

Менделеев, показав химическую частицу (атом), обладающей валентностью, как единство противоположностей, более глубоко раскрыл сущность строения веществ, состоящих из этих частиц. Оказалось, что в зависимости от условий элемент не только обладает различной валентностью, но что последняя, как и многие другие химические свойства атомов, подчиняется периодическому закону, т. е. изменение валентности происходит не случайно, а связано с положением элемента в периодической системе.

Последующее развитие понятия валентности связано с новейшей революцией в физике, с выдающимися экспериментальными успехами в познании строения атома.

В 1913 г. Н. Бор, опираясь на проведенные эксперименты, периодический закон и планетарную модель атома, объяснил размещение электронов по орбитам, ввел понятие достроенного слоя и внешних электронных оболочек, от строения которых, как оказалось впоследствии, зависят как химические свойства элементов, так и их валентность. Практически понятие о валентности превращается уже в учение о валентности, которое включает в себя и выяснение причин образования химических соединений, т. е. выявление природы химической связи.

Коссель (1915) и Льюис (1916) применили атомную модель Бора к объяснению электровалентной и ковалентной теории химической связи. Валентный штрих, символизирующий в теории строения связь между атомами, стал обозначать общую пару (дублет) связующих электронов. Так была установлена электростатическая природа химической связи, причина положительной и отрицательной валентности. Однако не был еще ясен сам механизм образования связующих пар валентных электронов, суть электронного дублета.

Ответ на эти вопросы был получен в ходе дальнейшего углубления в сущность строения атома, опытного установления двуединой корпускулярно-волновой природы элементарных частиц, открытия спина (момента собственного вращения) электрона, с возникновением и развитием на этой основе квантово-механической теории атома. Оказалось, что в основе образования как ионной, так и ковалентной связи лежит одно и то же явление — спаривание электронов. Оно имеет место только в случае электронов с антипараллельными спинами. Число не спаренных электронов в атоме указывает на возможное число образования химических связей, т. е. на валентность атома данного элемента.

На основе законов квантовой механики было установлено, что наиболее прочные химические связи образуются в направлении максимального перекрывания облаков связующих электронов. Так было дано физическое обоснование *насыщаемости* валентности и ее *направленности,* что сыграло весьма важную роль в развитии учения о пространственных формах молекул (стереохимия).

Естественно, что и современное учение о валентности не является завершенным. Более глубокое познание сущности строения атома, свойств элементарных частиц, но-

вых форм и видов химических соединений (например, открытие соединений инертных газов, «сендвичевых» соединений типа ферроцен, соединений между валентно-насыщенными молекулами $NH_3 \cdot BF_3$ и т. д.) неизбежно обусловит и дальнейшее развитие учения о валентности.

Процесс познания сущности химических веществ непрерывен и многоступенчат. Образование и развитие понятий, и в частности валентности, отражает эти ступени углубления в сущность. Поскольку последняя многогранна, неисчерпаема, постольку в ходе познания непрерывен и процесс образования, развития и углубления научных понятий.

Диалектика взаимоотношений сущности и явления заключается не только в том, что сущность познается лишь через опытное изучение и теоретическое осмысливание конкретных явлений, но и в том, что само знание сущности материальных объектов и процессов, отраженной в понятиях и законах, — необходимая ступень к более полному познанию конкретного явления. Эта сторона познания, выражающаяся в обратном движении от установленной сущности к явлению, является чрезвычайно важной в развитии научного знания. Имея в виду, в частности, ценность познания химического закона, Д. И. Менделеев писал, что каждый естественный закон только тогда приобретает особое научное значение, «когда из него есть возможность извлекать практические, если можно так выразиться, следствия, то есть такие логические заключения, которые объясняют необъясненное еще, указывают на явления, до тех пор не известные, и, особенно, когда он дает возможность делать такие предсказания, которые возможно подтвердить (практическим) опытом. Тогда очевидной становится польза закона и получается возможность испытать его (применимость) справедливость. Тогда он становится по меньшей мере стимулом для разработки новых частей науки и, во всяком случае, ведет поэтому к ее усовершенствованию» [1].

Действительно, лишь в процессе обратного движения от сущности к явлению достигается в свете познанной сущности более глубокое и полное представление о хими-

---

[1] Д. И. Менделеев. Новые материалы по истории открытия периодического закона. М., 1950, стр. 36—37.

ческом объекте. Как известно, установление Менделеевым одной из основных сторон сущности элемента — характера связи атомного веса элемента с его химическими свойствами, позволило от этой сущности, выраженной периодическим законом, перейти к более глубокому и полному познанию отдельных химических элементов и их свойств как конкретных явлений. В ходе движения познания от явления к сущности, а затем от сущности, выраженной в законе или понятии, к явлению и совершается развитие научного знания.

Поскольку закон отражает внутренние, существенные связи, постольку он совпадает с сущностью. Значит, как сущность, так и закон отражают наиболее важное, решающее в предметах. Отсюда закон и сущность — понятия однородные или, вернее, по выражению В. И. Ленина, «одностепенные, выражающие углубление познания человеком явлений, мира *etc.*» [1].

В то же время закон не совпадает с сущностью полностью. Он не охватывает сущности целиком, а отражает лишь какую-нибудь одну ее сторону, лишь одну из необходимых устойчивых связей. Действительно, закон сохранения веса вещества справедлив для любых химических превращений. Он указывает на устойчивую, необходимую, повторяющуюся связь между массами исходных и конечных продуктов любой реакции. Но этот закон не охватывает целиком сущности химической реакции, а лишь отражает ее количественную сторону. Сущность химических реакций охватывается рядом законов. Любая из реакций протекает в соответствии с законами стехиометрии, валентности, подчиняется закону Гесса, действующих масс и т. д.

На основе знания сущности открывается возможность объяснения, углубления и уточнения известных и открытие, предсказание новых явлений, истинность которых, а значит, и правильность познания сущности подтверждается и проверяется практикой, химическим экспериментом, опытом. Подобный путь развития научных знаний есть всеобщая закономерность процесса познания. Изучение и овладение химиком-исследователем этой закономерностью имеет огромное методологическое значение, ибо она указывает химику тот единственно правильный,

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 136.

научный путь, каким необходимо идти в изучении химических веществ и явлений для выработки теоретических представлений, понятий, установления законов, раскрывающих сущность химического объекта. На основе этих понятий и законов осуществляется научное предвидение, предсказываются новые свойства, строение веществ или характер протекания химических реакций и их результат в зависимости от тех или иных конкретных условий.

Познание сущности химических объектов многосторонне. Оно связано с раскрытием целого ряда составляющих ее моментов, с исследованием ряда категорий, отражающих объективные взаимосвязи как внутренних сторон объекта, так и его внешних отношений. В этом плане для химика большой интерес представляют категории «необходимость» и «случайность».

Необходимость и случайность в химии

Среди бесчисленного разнообразия связей, существующих в объективном мире, выделяются связи существенные, повторяющиеся, вытекающие из природы явления, и связи несущественные, поверхностные, временные, зависящие главным образом от внешних условий существования предметов и явлений. Отражением этих связей являются такие категории диалектики, как необходимость и случайность.

Категория необходимости отражает общее, типичное, внутреннее, то, что преимущественно вытекает из глубоких, существенных, повторяющихся связей предметов и явлений действительности. Необходимость, следовательно, обусловлена внутренними законами развития в данных конкретных условиях. Именно закон, как известно, обусловливает строго определенный порядок развития явления. Под необходимостью также понимается то, что подготовлено предшествующим ходом развития явления, что естественно вытекает из его внутренней природы и обязательно, с неизбежностью должно осуществиться. Например, то, что вес исходных веществ, вступивших в реакцию, обычно равен весу полученных продуктов; водород в химических процессах выступает как восстановитель, а хлор во взаимодействии с металлами — как окислитель; бутан имеет только два изомера, — содержит свое основание в глубоких коренных свойствах и связях химических веществ. Эти явления обусловлены действием

определенных, установленных химией объективных законов.

Категория случайности отражает моменты действительности, которые вытекают преимущественно из внешних условий, поверхностных, неустойчивых связей и побочных для данного явления обстоятельств. Случайность выражает в основном единичное, не существенное для данного явления. Так, получение нового вещества при химической реакции начинается со столкновения молекул исходных веществ. Но какая именно молекула одного реагента — первая, вторая или третья (если их мысленно перенумеровать) — первоначально столкнется с молекулой другого — дело случая. Видимо, столкнутся те молекулы, которые в момент смешивания будут наиболее близко друг от друга. Значит причина для этого столкновения есть, но она заключается не в химической природе реагирующих веществ, а во внешних по отношению к ней обстоятельствах (в расположении молекул в пространстве, удаленности их друг от друга). Химическая же реакция в целом, тенденция ее развития и конечный результат необходимо обусловлены и определяются действием соответствующих законов стехиометрии, валентности, химического строения.

В каком же смысле можно говорить о случайности в химических процессах? Прежде всего следует иметь в виду, что химическое превращение (реакция) есть взаимодействие масс химических частиц, т. е. явление, подчиняющееся статистическим закономерностям. Единичным в этом процессе является элементарный химический акт. Осуществление его зависит от индивидуальных особенностей сталкивающихся химических частиц (молекул реагентов), от величины их кинетических энергий. Последняя может быть различной у молекул одного и того же рода, что сказывается и на величине энергетического барьера (энергии активации), который должны преодолеть эти молекулы для совершения элементарного химического акта. В результате он может завершиться раньше или позже по сравнению с временем взаимодействия основной ма́ссы реагирующих частиц. В этом смысле данный элементарный химический акт является случайным.

Известно также, что некоторые химические процессы могут одновременно протекать по нескольким направле-

ниям с получением разных продуктов. Так, неустойчивая хлорноватистая кислота способна претерпевать три типа превращений:

$$1.\ HOCl = HCl + O;$$
$$2.\ 2HOCl = H_2O + Cl_2O;$$
$$3.\ 3HOCl = 2HCl + HClO_3.$$

Все эти реакции необходимы. Они обусловлены химической природой HOCl, подчиняются соответствующим закономерностям ее состава и строения. Но относительная скорость этих процессов во многом зависит от условий. Изменяя последние, можно добиться того, что превращение хлорноватистой кислоты практически будет осуществляться по одному какому-либо типу. Под действием прямого солнечного света разложение HOCl почти нацело пойдет по первому типу. Также протекает реакция в присутствии веществ, способных легко присоединять кислород, или при наличии некоторых катализаторов (соли кобальта). Однако в присутствии водоотнимающих веществ ($CaCl_2$) разложение HOCl идет преимущественно по второму типу, получается газообразный продукт — окись хлора (Cl_2O).

Случайной в подобной реакции является судьба отдельной молекулы (или группы их участниц элементарного химического акта), которая распадается по одному из трех возможных путей в зависимости от своих индивидуальных особенностей. Аналогичные явления можно наблюдать на многочисленных примерах образования окислов. Известно, что ряд простых веществ (N_2, C, P, Fe и т. д.) образуют по нескольку соединений с кислородом. Это объясняется их строением, валентностью, химической природой. Однако при получении, например, CO_2 отдельные молекулы углерода могут образовывать и CO. Эти отклонения, зависящие от индивидуальных особенностей той или иной молекулы углерода среди общей массы последних, при данных условиях будут представлять единичные, не характерные, случайные явления.

Нетрудно заметить, что подобные случайности, отклонения отдельных элементарных химических актов от общего закономерного хода реакции так или иначе связаны с последней. Случайное обусловливается химической реакцией, проявляется в процессе ее в том или ином конкретном виде. Следовательно, случайное внутренне свя-

зано с необходимым. Отсюда понятно замечание Энгельса о необходимости, «внутренне присущей также и случаю» [1].

Рассматривая связь необходимости и случайности, нужно особо подчеркнуть важное значение при этом внешних условий. Важно также отметить, что было бы неправильным, как это иногда делается, объяснять необходимость только из внутренних, существенных связей, а случайность — только из внешних, побочных. Внутренние, существенные связи химического вещества, процесса нельзя считать чем-то совершенно обособленным и не зависящим от внешних связей. Это было бы метафизическим подходом. В действительности химическое превращение осуществляется лишь при определенных внешних условиях (температура, давление, катализаторы и т. д.), где имеют значение даже, казалось бы, такие «несущественные» условия, как размеры, материал и состояние стенок реакционного сосуда. Иначе говоря, реакция протекает при тесном взаимодействии внешних факторов с факторами глубокими, внутренними, определяющими химическую природу вещества.

Условия реакции как раз и являются решающими для перехода случайности в необходимость и наоборот. Как следует из вышерассмотренных примеров, случайным в ходе реакции является единичный, элементарный химический акт, например, образование единичных молекул CO при получении CO_2 или разложение отдельных молекул $HOCl$ по третьему типу, в то время как распад основной массы молекул этого вещества в данных условиях необходимо идет по первому или второму типу. Для превращения случайности в необходимость в этих случаях требуется наличие таких внешних условий, чтобы случайность, выразившаяся первоначально в одиночном элементарном акте, приняла характер массовый, стала обязательной, присущей основному количеству реагирующих частиц. Выяснение условий и закономерностей, которым подчиняется эта совокупность, и означает раскрытие лежащей в ее основе необходимости, т. е. превращение случайности в необходимость. Нетрудно себе представить и обратный процесс.

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 361.

Таким образом, полярность необходимости и случайности относительна. Эти категории при всей своей противоположности неразрывно связаны между собой и при определенных условиях переходят друг в друга. Химическая наука всем своим опытным материалом доказывает, что «чистых» случайностей, как и «чистых» необходимостей, нет. Одни и те же явления в разных отношениях, условиях и связях могут выступать и как необходимые, и как случайные.

Выяснение соотношения необходимости и случайности позволяет раскрыть внутреннюю логику развития химической науки. Известно, например, что обнаружение ряда элементов и их свойств до открытия периодического закона представляло собой случайное явление. Ярким примером этого может служить открытие фосфора в моче алхимиком Брандтом, искавшим философский камень и исходившим при этом из мистической идеи о пребывании его в продуктах жизнедеятельности. В определенной мере случайно было обнаружено А. Беккерелем явление радиоактивности солей урана, когда он искал подтверждения выдвинутой им неверной идеи о связи явления флуоресценции стекла с невидимыми лучами, испускаемыми катодной трубкой. Вероятно, также случайно (по времени и характеру открытия, поскольку сам поиск в известной степени велся целеустремленно) обнаружили в древнем Китае состав и свойства пороха и т. д. Однако изучая, группируя и систематизируя в том числе и случайно открытые элементы, Д. И. Менделеев установил периодический закон. Свойства элементов (например, окислителей, восстановителей) выступили уже не случайными, а необходимыми. Случайное открытие А. Беккереля привело к установлению сложной структуры атома, созданию теории атомного ядра, открытию цепной реакции ядерного деления урана в соответствии с теорией цепных процессов Н. Н. Семенова и С. Хиншелвуда и в конце концов целеустремленно, с необходимостью — к атомному реактору. Таким образом, как бы случайное первое открытие в процессе развития науки в условиях определенных практических и теоретических предпосылок и потребностей влечет за собой с необходимостью целый ряд событий. Это еще раз подтверждает неразрывность необходимости и случайности, диалектическую связь между ними.

В связи с этим следует остановиться на довольно распространенном положении: «Наука — враг случайности», которое нередко воспринимается как выражение непримиримости науки и случайности вообще. Подобное понимание требует известного уточнения. Важнейшей целью науки является, как известно, открытие и познание законов материального мира. Именно они выражают глубокие, коренные, необходимые взаимосвязи явлений. Наука, стоящая на диалектико-материалистических позициях, считает, что случайность является формой проявления и дополнением необходимости. Объявить науку врагом случайности — значит ограничить ее лишь изучением необходимости, т. е. сузить сферу ее исследования.

Как мы видели, случайные явления существуют объективно, имеют свои причины, и их изучение помогает полнее, глубже познавать действительность. Раскрывая природу случайных явлений, человек может использовать их в своих интересах, устраняя и исключая нежелательные случайности. Именно поэтому положение «Наука — враг случайности» «не может полностью отразить отношение науки к случайностям и претендовать на роль всеобщего методологического положения: оно может употребляться только в узко ограниченном смысле» [1].

Видимо, следует различать степень и характер случайности в открытиях, например, фарфора и фосфора или индиго, стекла и пороха (о чем говорилось выше). Первые в полном смысле были неожиданными, так как исследование проводилось с совершенно иными целями. Открытие же в древности некоторых красителей, взрывчатых веществ и т. д. совершены были в процессе более или менее направленного поиска, который, однако, велся эмпирически, т. е. в известной степени наугад, вслепую, без опоры на научную теорию. Поэтому в этих открытиях также содержится немалый элемент случайности.

Низводится ли на нет роль случайности сейчас, в эпоху столь больших достижений науки и техники? В современной органической химии, в области исследования живого, в познании самых таинственных глубин материи на микро-, макро- и космическом уровнях, везде, где ведется ныне интенсивный научный поиск, случайность как форма

---

[1] Н. В. Пилипенко. Необходимость и случайность. М., 1965, стр. 178.

проявления необходимости не устраняется и изучается наукой. Подтверждением этого служит история открытия пенициллина А. Флемингом и получение впервые в 1961 г. М. Ниренбергом искусственного белка. Но характер этих случайностей совсем иной, нежели открытие фосфора, пороха или радиоактивности. Они произошли в силу непредвиденно сложившихся чисто внешних, приходящих обстоятельств, но в ходе строго направленного научного поиска, изучения микроорганизмов, синтеза белков. На основе уже выработанной научной теории весьма скоро эти открытия были бы совершены, может быть даже этими же или другими учеными. К тому вело все направление научного исследования.

Правильное понимание взаимосвязи необходимости и случайности, их места и роли в развитии явлений — основа науки и практики. Поскольку, однако, необходимое осуществляется неизбежно, а случайное может иметь место, а может и не иметь, то в научной и производственной деятельности химик обязан исходить из необходимых связей и отношений, а не ориентироваться на случайное стечение обстоятельств. Отсюда и основной задачей химической науки является познание необходимого.

О реальной и абстрактной возможности в химии

В бесконечно многообразной сущности химического вещества (явления), представляющей единство самых различных его сторон, противоположных тенденций, таятся не одинаковые по своему характеру и значению возможности. Так же реальна и невозможность — противоположность возможности. Она есть то, чего не может быть, что противоречит существующим объективным законам материального мира. Например, невозможно создать perpetuum mobile — такую машину, которая совершала бы работу, не затрачивая на это соответствующего количества энергии.

Большое практическое значение для химика имеет знание диалектики абстрактной и реальной возможности. Следует заметить, что последнюю некоторые философы[1] справедливо предлагают назвать конкретной и именно ей противопоставить абстрактную возможность,

---

[1] См.: А. П. Шептулин. Система категорий диалектики, стр. 363.

ибо она также реальна. Не отказываясь от установившегося в философской литературе термина, будем подразумевать под реальной возможностью такую (конкретную) возможность, для реализации которой существуют в данный момент все необходимые условия. Абстрактной возможностью назовем такую, для осуществления которой в данный момент отсутствуют соответствующие условия. Отсюда следует, что абстрактная и реальная возможность при определенных обстоятельствах взаимопереходят друг в друга.

Для целенаправленного воздействия на природные процессы, для постановки экспериментов по превращению веществ, проведения химических реакций чрезвычайно важно знать, что возможно и что невозможно, что из возможного является реальным и что — абстрактным в данных конкретных условиях. В химии получение веществ с нужными свойствами из данных, исходных, осуществление той или иной реакции — прежде всего вопрос возможности. Сама возможность образования новых химических веществ заложена уже в объективном существовании химической формы движения материи. Однако отсюда еще не следует, что любое химическое вещество можно получить из любых исходных продуктов, что возможна всякая реакция.

Совершенно очевидно, что нельзя получить химическим путем соляную кислоту из соединений, не содержащих водорода и хлора. Это противоречило бы самой природе химической формы движения материи, так как здесь не происходит взаимопревращаемости элементов. Таким образом, возможность получения какого-либо вещества объективно обусловливается прежде всего составом реагентов.

Это необходимое, однако еще не достаточное условие. Можно иметь соответствующий материальный состав исходных реагентов, находящихся в соприкосновении друг с другом, но химической реакции не произойдет. В воздухе, например, в смеси с кислородом (21% по объему) сосуществуют азот (78% по объему), водород и другие газы, но практически они не окисляются. Не происходят также со сколько-нибудь существенной скоростью реакции окисления (горения) углерода (угля в кусках), серы и многих других элементов, в изобилии находящихся на земле в свободном состоянии. Но стоит только сообщить

импульс, поджечь, например, уголь или серу, и реакции пойдут. Сколь угодно долго могут существовать в сухом воздухе, не взаимодействуя с кислородом, многие металлы (Fe, Cu и др.), но во влажной атмосфере они немедленно окисляются.

Таким образом, осуществление какой-либо реакции зависит от многих факторов. В первую очередь от природы атомов химических элементов, которая определяется строением атомов. От этого же зависит и так называемое химическое сродство (способность атомов веществ реагировать друг с другом), характер химической связи между атомами в молекуле, тип и прочность этой связи. Именно знание характера связи как раз и позволяет зачастую судить о возможности той или иной конкретной реакции. Такое вещество, например, как бертоллетова соль, содержит кислород. Поэтому существует возможность получения его из данного соединения. Уже при температуре 200° $KClO_3$ разлагается с выделением кислорода. Очевидно, связь между хлором и кислородом в молекуле бертоллетовой соли является слабой (с точки зрения энергетического барьера). Образовавшаяся же связь одновалентного отрицательного хлора с атомом калия более прочная, чем в случае $KClO_3$, где Cl пятивалентен. Напротив, получить кислород из такого соединения, как K_2SO_4, тоже содержащего этот элемент, нагреванием практически невозможно. Здесь связь кислорода с серой является чрезвычайно прочной. При очень высокой температуре произойдет лишь термическое разложение:

$$K_2SO_4 = K_2O + SO_3$$

Итак, не только от материального состава исходных химических соединений, природы составляющих их атомов, но и от характера связи между ними и условий реакции зависит разнообразие возможностей химических превращений.

Для конкретного решения вопроса о реальности или абстрактности той или иной возможности превращения химического вещества в данных конкретных условиях необходимо знать движущие силы реакции и факторы, противодействующие ее протеканию. В общей форме выяснением возможностей, направления и пределов самопроизвольного протекания химических процессов занимается химическая термодинамика. На основе второго закона

термодинамики построено учение о равновесиях и выведены так называемые функции состояния: энтропия (S), свободная энергия (F), изобарно-изотермический потенциал (G) и др. По изменению этих функций состояния устанавливается влияние на положение равновесия таких непосредственно измеряемых факторов, как температура, давление, концентрация.

В работах Гиббса и Гельмгольца, Вант-Гоффа и других ученых был решен вопрос об определении возможности химической реакции и найдена количественная мера этой возможности. Мерой способности вещества вступать в химическое взаимодействие, возможности самопроизвольного протекания реакции в данном направлении является величина ΔG — изменение изобарно-изотермического потенциала.

«Принципиальная осуществимость процесса определяется знаком ΔG: если при данных условиях $\Delta G < 0$, то реакция возможна, если $\Delta G > 0$, реакция неосуществима, $\Delta G = 0$ — система находится в равновесии» [1].

Итак, самопроизвольное течение химических процессов возможно только в направлении уменьшения изобарно-изотермического потенциала ($\Delta G < 0$); пределом течения такого процесса служит достижение минимального значения G_T системы при данных условиях. Это одна из формулировок второго закона термодинамики для химических процессов. Она говорит о принципиальной возможности, направлении и пределе самопроизвольного протекания химических реакций.

Химическая термодинамика также дала методы расчета величины и вскрыла глубокий смысл понятия константы равновесия — K, связанной с законом действующих масс и характеризующей степень превращения веществ в результате химической реакции. Численное значение величины K весьма важно для суждения не только о возможном направлении реакции (при заданных начальных условиях), но и для определения выхода продуктов. Если величина K очень большая (примером может служить реакция $C + O_2 = CO_2$, для которой при 25° С $K = 10^{70}$), то равновесие реакции смещено вправо и при-

---

[1] М. Х. Карапетьянц. Химическая термодинамика. М. — Л., 1953, стр. 481.

том с большим выходом продуктов.[1] Ибо в случае $K \gg 1$ при равновесии концентрация продуктов реакции много больше, чем концентрация исходных веществ, и термодинамически первые более устойчивы, нежели последние в этих же условиях.

Наоборот, при $t = 25°$ C для реакции $2CO_2 \rightleftarrows 2CO + O_2$ константа равновесия весьма мала ($K = 10^{-8}$). Это означает, что степень превращения исходных веществ, или равновесный выход продуктов реакции, крайне незначительна, т. е. равновесие смещено влево. Или, например, константа равновесия реакции окисления азота $N_2 + O_2 \rightleftarrows 2NO - 4314$ *кал* при $t \cong 200°$ равна $1{,}2 \cdot 10^{-19}$. Это означает, что при указанной температуре реакция нацело сдвинута влево и образования NO не наблюдается. Лишь в вольтовой дуге при $t \cong 3000°$, когда $K = 8{,}6 \cdot 10^{-3}$, может образовываться окись азота, и то степень превращения N_2 в NO достигает лишь 3,57%. На основании термических (теплоемкости и их зависимости от температуры) и термохимических (Q химических реакций) данных, не прибегая к постановке дорогостоящих и длительных экспериментов, можно заранее рассчитать ΔG и K и тем самым заранее определить принципиальную возможность или невозможность и направление протекания того или иного химического процесса. Открывается перспектива качественно и количественно управлять процессом, решать вопрос об условиях его реализации.

Определение термодинамической возможности, однако, еще недостаточно для того, чтобы судить о реальности осуществления процесса. «Химическая термодинамика... предсказывает направление, в котором протекает реакция, и момент установления *химического равновесия.* Тот факт, что некоторая стехиометрически возможная реакция не происходит в действительности, может быть обусловлен либо тем обстоятельством, что равновесие сильно смещено в сторону исходных реагентов, либо тем, что ее скорость слишком мала для того, чтобы быть измеренной. Термодинамика поясняет лишь первый аспект. Она дает указание на то, возможна ли данная реакция, но не на то, будет ли она происходить в действительности»[2].

---

[1] K во всех случаях записывается так: в числителе — продукты реакции, в знаменателе — исходные вещества.

[2] К. Д. Неницеску. Органическая химия, т. I, стр. 155.

Если мы исследуем возможность протекания реакции окисления и некоторых других веществ в атмосфере кислорода воздуха с позиций химического сродства и рассчитаем для них ΔG, то убедимся в том, что $\Delta G<0$. Тем не менее практически все эти реакции не происходят. Это указывает на наличие тормозящих реакцию препятствий и на необходимость их устранения для реального осуществления реакции.

В этом случае очень большое значение имеет кинетика реакции; она определяет, может ли быть реализован практически, т. е. превращен в действительность, принципиально (термодинамически) возможный процесс. Иначе говоря, осуществление реакции зависит от ее скорости, когда кинетическая энергия реагирующих молекул окажется выше и преодолеет при сближении сопротивление деформации электронных облаков, электрических полей молекул, т. е. их отталкивающее действие. С точки зрения кинетики, необходимым условием для взаимодействия является то, что сталкивающиеся молекулы должны обладать определенной энергией. Эта энергия называется энергией активации данной реакции.

Итак, энергия активации ($E_а$) — это та избыточная энергия, которой должны обладать молекулы, чтобы при сближении они могли преодолеть силу отталкивания. Графически это можно изобразить так: если по оси абсцисс отложить «путь реакции», а по оси ординат — энергию молекул веществ — участников реакции, то видно, что $E_а$ представляет собой «барьер», который нужно преодолеть исходным молекулам, чтобы вступить в реакцию (рис. 17).

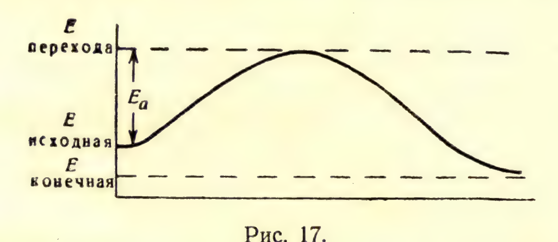


Рис. 17.

Именно энергия активации играет в кинетике решающую роль. Она является показателем скорости химической реакции, а значит, и возможности ее реального осуществления. Так, если $E_а$ той или иной реакции ничтожно мала, это значит, что почти каждое столкновение

между частицами реагирующих веществ приводит к их взаимодействию, скорость такой реакции велика, т. е. она реально возможна. Наоборот, если $E_а$ очень велика, то это значит, что лишь очень незначительное число столкновений молекул приводит к их взаимодействию, т. е. реакция практически неосуществима (даже если термодинамически она возможна).

Так, термодинамически возможная реакция синтеза аммиака имеет очень высокую $E_а$. При нормальных условиях (обычная температура и давление 1 *атм*) она протекает столь медленно, что это практически невозможно установить. Например, и в процессе $2SO_2+O_2\rightleftarrows 2SO_3$ средняя энергия, которой обладают большинство молекул, также гораздо меньше $E_а$. Основной причиной высокого значения $E_а$ в этой реакции является необходимость затраты энергии на ослабление связи в молекулах кислорода, чтобы сделать последние реакционноспособными. Именно поэтому крайне ничтожна скорость данного процесса.

Для возрастания скорости реакции нужно увеличить число активных молекул, что достигается: повышением t (увеличивается число молекул, обладающих большей энергией, чем средняя энергия молекул, участвующих в реакции) и добавлением катализатора (снижается энергия активации). Скорость химической реакции зависит, как известно, от присутствия веществ-катализаторов. Катализатор резко увеличивает скорость реакции и тем самым способствует осуществлению реакции, которая «термодинамически возможна, но в отсутствие катализатора не происходит» [1]. Воздействие катализатора на химическую реакцию осуществляется путем промежуточного взаимодействия его с реагирующими веществами. С помощью положительного катализатора энергия активации понижается, и молекулы, обладающие меньшим запасом энергии, становятся реакционноспособными. Промежуточное взаимодействие с положительным катализатором открывает возможность нового реакционного пути, по которому данная реакция протекает с большей скоростью, чем без катализатора. Если катализатор отрицательный, его присутствие замедляет или практически полностью подавляет один из возможных путей течения химической реакции. Подобная избирательность (селек-

[1] «Краткая химическая энциклопедия», т. 2, стр. 560.

тивность) действия многих катализаторов наряду с активностью является весьма ценным их свойством.

Многие важнейшие химические процессы могут протекать по нескольким направлениям с образованием различных продуктов. Причем каждое из этих направлений является термодинамически возможным. Руководствуясь знанием законов химии и конкретных условий протекания реакции, можно предотвратить развитие и превращение в действительность нежелательных возможностей. Это достигается таким подбором условий химического процесса, при котором нежелательная возможность практически не может быть превращена в действительность, т. е. останется абстрактной. Но это, как уже указывалось, зависит от кинетического фактора, т. е. от скорости протекания той или иной из возможных реакций. Например, важной реакцией для практики является получение окиси азота, столь необходимой в производстве азотной кислоты, путем окисления аммиака:

$$4NH_3 + 5O_2 = 4NO_2 + 6H_2O + 216\,700 \textit{ кал.}$$

Для этой реакции при 900° С $K = 10^{53}$, т. е. реакция практически необратима, почти нацело сдвинута вправо. Но наряду с этой реакцией столь же термодинамически возможными являются и другие, а именно:

$$4NH_3 + 4O_2 = 2NO_2 + 6H_2O + 263\,900 \textit{ кал.} \quad K_2 = 10^{61} \text{ и}$$

$$4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O + 303\,100 \textit{ кал.} \quad K_3 = 10^{67}.$$

Эта последняя, термодинамически возможная реакция при данных условиях может протекать наиболее полно, что видно и по величине ее K. Но она является нежелательной, ибо в результате ее протекания происходит дефиксация азота, бесполезная потеря аммиака. Недопустить эту реакцию — значит повлиять на кинетику ее таким образом, чтобы соответствующим подбором условий свести скорость данной реакции к ничтожной, практически не приводящей к образованию конечных продуктов. Это, в частности, и достигается подбором катализатора, обладающего селективным действием, т. е. способным ускорять лишь одну из нескольких одновременно возможных реакций.

Так, для процесса окисления аммиака с получением двуокиси азота наиболее подходящим оказался платино-

вый катализатор. Он ускоряет первую реакцию в такой степени, что выход NO_2 достигает 99%, следовательно, третья реакция делается практически неосуществимой в данных условиях. Таким образом, возможность первой реакции оказывается реальной; именно она превращается в действительность. Возможность же третьей реакции оказывается абстрактной.

Итак, от природы добавленного катализатора зависит, по какому направлению преимущественно пойдет процесс, а значит, и какой продукт будет получен. Так называемый гетерогенный катализ (катализатор и реагирующие вещества находятся в разных фазах) позволил заменить сложные многостадийные процессы, столь характерные для классической химии, «прямыми» процессами. С помощью твердых катализаторов удалось как бы воскресить мертвое царство считавшихся долгое время химически неактивными парафиновых и алициклических насыщенных углеводородов, превратить их в богатейшие источники сырья для органического синтеза.

Огромные возможности в химии раскрыло использование гетерогенного катализа с применением высоких давлений. На этой основе, в частности, была решена важнейшая экономическая проблема деструктивной гидрогенизации (переработка с присоединением водорода) низкосортного топлива — твердых горючих ископаемых (угля), мазутов, смол и т. п. до высококачественного жидкого моторного топлива, масел, получения нефтяных бензинов и т. д. Гетерогенный катализ сделал реальной возможность практического осуществления широкого круга таких важнейших процессов, как окисление органических соединений, полимеризация, дегидрогенизация (отщепление водорода) и т. д. Это позволило получать ценные продукты нефтепереработки, непредельные и ароматические углеводороды (бензол, толуол) и многое другое.

Итак, ведущую роль в определении возможности в химии играет термодинамический фактор. Термодинамика определяет движущие силы реакции, устанавливает основные принципы, закономерности обмена и превращения энергии в химической системе, определяет пределы энергетической устойчивости молекул, т. е. тем самым и возможность протекания реакции. Если реакция термодинамически невозможна в данных условиях, то

сделать ее осуществимой, не изменяя условий, нельзя. Определение термодинамической возможности — это первая задача химика-исследователя. Но термодинамика не исчерпывает все закономерности химического движения. Определяя движущие силы реакции, термодинамика дает лишь принципиальный ответ на вопрос о возможности или невозможности процесса. Конкретный характер возможности, условия ее реализации раскрывает кинетика путем изучения механизма и скорости химического взаимодействия. Поэтому понятие возможности становится полным лишь тогда, когда, кроме возможности термодинамической, имеются соответствующие кинетические условия.

Если реакция в принципе возможна при данных условиях, но не идет из-за высокой энергии активации, то, влияя на кинетический фактор, можно снизить $E_а$ и реакцию осуществить; так возможность абстрактная превращается в возможность реальную, а затем и в действительность. На кинетику химических реакций можно влиять не только с помощью катализаторов, но и различными другими способами, например, воздействием света, радиоактивного излучения, особенно для синтеза полимеров, и другими факторами, вызывающими большую реакционную способность реагентов.

Опираясь на принципы термодинамики, расчеты изменения величин таких функций состояния, как, например, G, S, F, и законы, управляющие кинетикой химической реакции, можно заранее теоретически выяснить не только принципиальную возможность или невозможность процесса в изолированной или неизолированной химических системах, но и те конкретные условия (t, p, катализатор, среда и т. д.), при которых возможность может стать реальной, превратиться в действительность.

Материалистическая диалектика вооружает исследователя знанием общих положений о возможности и действительности, принципиальным решением вопроса о диалектике (условиях взаимоперехода) абстрактной и реальной возможности, о путях превращения возможности в действительность. Конкретное же решение вопроса на основе этих принципов о невозможности или возможности и ее характере в данном химическом процессе, частных условиях, которые необходимо создать для

превращения возможности абстрактной в реальную и затем в действительность, достигается лишь путем изучения, исследования и расчетов самих химических фактов, реакций, специальными методами на основе теорий и законов химии.

Лишь такое сознательное сочетание общих философских принципов с конкретным материалом химической науки обеспечивает успешную практическую деятельность химика.

Связь структуры и свойств химических веществ

Знание структуры химических веществ для познания их свойств и превращений играет исключительно важную роль. Само понятие «структура» (лат. structura — строение, расположение) утвердилось в химии к середине XIX в. Этому исторически предшествовало определение понятия элемента (Р. Бойль) как частицы, не разложимой далее химическим способом, введение количественного метода исследования (М. В. Ломоносов, А. Лавуазье), положившего начало эпохе точного аналитического исследования, открытие ряда химических элементов и установление состава многих веществ. Огромное накопление эмпирического материала с необходимостью привело к открытию закона постоянства состава, кратных отношений (Ж. Пруст, Дж. Дальтон), утвердивших идею дискретности, и установлению понятия молекулы. Открытие изомерии органических соединений (И. Я. Берцелиус) прямо показало, что объяснение ее следует искать в структуре молекул веществ изомеров. Первые теории органической химии (радикалов, типов) представляли собой попытки объяснить реакционную способность и другие свойства органических веществ из структурных особенностей.

Эту задачу успешно разрешает созданная А. М. Бутлеровым структурная теория. Она явилась учением о химическом строении органических соединений, устанавливающим порядок связи атомов и атомных групп (функциональных групп, радикалов) в молекулах, о существовании определенного порядка в распределении связей между атомами и атомными группами и взаимном влиянии последних друг на друга.

Таким образом, центральным положением теории Бутлерова явилось утверждение, что структура химического

вещества есть прежде всего порядок связи атомов в молекуле. Именно этим обусловлены все присущие молекуле свойства. Последние изменяются с изменением порядка связи атомов и атомных групп в молекуле. Установив неразрывную связь между строением и свойствами химического соединения, теория Бутлерова открыла путь к познанию внутреннего строения молекул, целеустремленному проведению химических синтезов. Стало возможным в принципе через изменение структуры вещества влиять на его свойства, и наоборот, исходя из установленных свойств, определять его структуру. Дальнейшее развитие представлений о структуре химических веществ связано с возникновением стереохимии, открытием различных видов стереоизомеров.

Новейшая физика выработала точные методы анализа структуры молекулы — рентгенографию и электронографию. В сочетании с чисто химическими приемами исследования строения молекул эти методы позволяют составить чертеж молекулы, установить ее размеры и форму.

Оказалось, что «молекула — тело с вполне определенными размерами и формой, что можно и должно изображать ее в виде геометрической фигуры, что она совсем не всегда шарообразна и форма ее тесно связана с химической структурой»[1].

Выяснилось также, что геометрия молекулы однозначно определяется, если известны величины длин связей и углов между ними (валентных углов). Так, трехатомная молекула воды H — O — H имеет треугольную формулу, длина каждой связи в O — H равна 0,9584 Å, валентный угол между ними равен 104°27′ (см. рис. 18).

Диаметр молекулы воды, вычисленный с помощью числа Авогадро, равен трем ангстремам. Подобная определенность объективно присуща молекуле любого вещества. Значит, структура выступает как *пространственное расположение* частиц в молекуле. Структура химического вещества всегда конкретно определена и характеризуется точно установленными

Рис. 18.

[1] С. Е. Бреслер и Б. Л. Ерусалимский. Физика и химия полимеров. М., 1965, стр. 7.

величинами. Положение научной философии о пространстве как всеобщей форме существования материи получило свое частное подтверждение в объективности существования структуры молекулы химического вещества, в особенностях пространственного размещения составляющих молекулу атомов и атомных групп.

Понятие о структуре химического вещества, или его строении, включает также характер или *способ связи* частиц в молекуле. Ибо не только порядок связей и пространственное размещение атомов и атомных групп относительно друг друга, но и способ их связи (ионная, ковалентная, водородная, металлическая) обеспечивают реальное существование данной молекулы.

Характер химической связи является, следовательно, также необходимым элементом структуры химического вещества.

Современная физика и химия экспериментально доказали, что структурность материи есть одно из ее всеобщих свойств. Наряду с пространством и временем структура является необходимой формой существования как неживой, так и живой материи. Подобно количественной определенности, структура тел и явлений связана с их качественными особенностями. Понятие структуры, выработанное впервые в естествознании, и в частности в химии, рассматривается и исследуется ныне как философская категория.

Научная философия под структурой понимает устойчивую, закономерную взаимосвязь, расположение составных частей, элементов, характеризующих строение данного материального образования как единого качественного целого. *Структура объективна* — поскольку является системой отношений реально существующих элементов, частей целого; *абсолютна* — ибо присуща всем без исключения материальным образованиям; *конечна* — как ограниченная в пространстве и времени и охватывающая только конечное число элементов, частей данного целого; *специфична* — ибо каждый качественно своеобразный материальный объект характеризуется особым, только ему свойственным строением, структурой.

Из последнего положения закономерно вытекает связь структуры и качества и, следовательно, свойств,

органическое единство, комплекс которых выражает качество. Свойства есть результат, функция определенной, характерной для каждого тела, явления структуры. Познание идет от свойств к структуре как от явления к сущности или как от следствия к причине. В процессе познания тела, явления наступает момент, когда вся совокупность свойств раскрывается в некотором единстве, которым и является определенная, устойчивая структура. Установление структуры тел и явлений в силу известной взаимообусловленности и взаимоотношений со свойствами способствует в свою очередь познанию еще неизвестных свойств.

В химии наиболее глубоко и разносторонне связь строения атомов и свойств химических элементов отражает периодический закон. Сама периодичность изменения свойств элементов в свете современного учения о строении вещества рассматривается с точки зрения электронной структуры и размеров их атомов. Современная формулировка периодического закона говорит, что свойства простых веществ, а также свойства и формы соединений элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядра атомов элементов.

Итак, атомный номер, заряд ядра, или количество электронов в атоме, поскольку последний в целом электронейтрален, является основанием для размещения элементов в таблице. Иначе говоря, подлинной причиной физических и химических свойств элементов, закономерной их повторяемости, определенного положения любого элемента в периодической системе является количество и порядок распределения электронов в атоме (по энергетическим уровням и подуровням — орбиталам), т. е. его структура.

В современной химии продолжаются настойчивые попытки установить конкретные закономерные зависимости между строением и свойствами, в частности между строением вещества и таким чисто химическим его свойством, как запах. Это имеет большое значение для производства ароматических, душистых веществ в парфюмерной промышленности.

Основанием этому является имеющийся большой экспериментальный материал, который совершенно ясно показывает, что «между запахом и химическим строе-

нием несомненно существует определенная зависимость»[1].

Установлено, что наличие так называемых осмофорных групп

$$\left(-OH;\ -C\begin{matrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{matrix};\ -C\begin{matrix}\nearrow O\\ \searrow OR\end{matrix};\ R{-}O{-}R;\ -C{\equiv}N;\ {=}N{-}H;\ -N\begin{matrix}\nearrow O\\ \searrow O\end{matrix}\ \text{и т. д.} \right)$$

в составе молекулы душистого вещества является причиной возникновения запаха. Эти группы «являются одной из функций, определяющей характер запаха. Не меньшее значение носит для характера запаха основной скелет соединения»[2].

Многочисленные опыты также показали, что факторами, влияющими на запах, являются: а) форма молекулы. Но она, как указывалось, тесно связана с наличием и распределением в ней атомов и атомных групп, с характером связей между ними, т. е. с химической структурой, или строением. Различные производные от одной и той же основной структуры молекулы душистого вещества обладают в большинстве случаев аналогичным запахом; б) изменения связей между составными частями целого, являющимися важнейшим элементом строения. Тип и вид связей влияют на реакционную способность вещества, на его физические и химические свойства. Так, введение в молекулу ароматического вещества двойной связи заметно увеличивает интенсивность запаха. Ацетиленовая (тройная) связь как бы раскрывает в ряде случаев запах в соединениях, не обладающих им, или интенсифицирует его; в) изменение структуры путем циклизации, т. е. перехода от соединения с открытой цепью к соединению циклическому при одном и том же числе углеродных атомов в молекуле, путем введения определенных углеводородных радикалов часто сопровождается возникновением запаха. Так, присутствие третичного бутила в препаратах искусственного мускуса имеет решающее значение для запаха мускуса. Большое значение для запаха имеет порядок замещения в бензольном ядре.

---

[1] В. И. Исагулянц. Синтетические душистые вещества. М., 1946, стр. 23.

[2] Там же, стр. 29.

Например, в нафталиновом ряду β-замещенные обычно обладают запахом и, наоборот, α-замещенные не имеют его. Так, β-нафтолметиловый эфир OCH_3 имеет запах черемухи, а α-нафтолметиловый эфир OCH_3 — без запаха. На возникновение запаха и его интенсивность влияет также полизамещенность ядра. Тризамещенные бензола часто обладают наиболее интенсивным запахом.

Другое важное для практики свойство веществ — цветность — также связано с их строением. Известно, что окраска есть результат избирательного поглощения телом из всей видимой части спектра некоторых лучей с определенной длиной волны. Окраска поэтому появляется, когда тело освещено, а цвет его соответствует цвету отраженных лучей. Так, тело, поглотившее все лучи, кроме красных, воспринимается как красное. Наоборот, при поглощении телом только красной части спектра все остальные отраженные им лучи создают ощущение сине-зеленого цвета.

В чем же причина избирательного поглощения телом света с определенной длиной волны? С химической точки зрения, окраска вещества обусловлена особенностями строения его молекул. В соответствии с одной из теорий цветности (хромофорной — немецкого ученого О. Витта, 1876), у бесцветных веществ окраска появляется, а у слабо окрашенных — углубляется при введении в их молекулы определенных атомных группировок — хромофоров (греч. «хромос» — цвет и «фореo» — несущий), таких, например, как NO_2, $—CH=CH—$, $—N=N—$ и др.

Позднее было установлено, что введение в состав хромогена (окрашенное соединение, содержащее хромофоры) некоторых других группировок — ауксохромов (греч. «ауксо» — увеличиваю): $—OH$, $—NH_2$ и др. — способствует дополнительному углублению цвета и появлению у вещества красящих свойств. Хромофорная теория была дополнена хиноидной (М. Ненцкий и английский химик Г. Армстронг, 1888), согласно которой все окрашенные вещества должны обладать хиноидным строени-

ем. Однако ряд фактов не укладывался в рамки этой теории. Кроме того, хромофорная и хиноидная теории, связывая строение вещества с цветопоглощением, не раскрывали его физической сущности.

Советский химик В. А. Измаильский в 1913—1919 гг., изучая спектры и химические свойства сопряженных систем, пришел к выводу, что окраска веществ связана со смещением в их тонком электронном строении. На этой основе он дал новую классификацию хромофорных групп и систем. Смещение валентных электронов и перераспределение плотности электронного облака между хромофорами есть, следовательно, определяющее в цветности, иначе говоря, цвет обусловливается, в конечном счете, состоянием электронов в молекуле. Именно смещающиеся электроны, а это, естественно, есть самые внешние (валентные), участвуют в поглощении света.

Но смещение электронов, изменение в распределении электронной плотности означает поляризацию молекулы. Легко поляризуются молекулы веществ, содержащих цепочки сопряженных двойных связей (т. е. π-электроны). Чем длиннее эта цепочка, тем подвижнее π-электроны, тем меньше энергии необходимо для перевода электрона на более высокий энергетический уровень, тем больше при этом смещается поглощение в длинноволновую область спектра и глубже окраска вещества.

Следовательно, изменяя химическое строение молекулы вещества через введение определенных заместителей, а также порядок замещения в бензольном ядре через увеличение цепочки сопряженных двойных связей, циклизацию и т. д., химик целенаправленно воздействует на свойства (ароматичность, цветность и т. д.) получаемых веществ. Нетрудно заметить, что изменение свойств химических веществ, происходящее в результате перестройки их структур, связано с изменением ряда количественных характеристик (числа циклов, заместителей, длин цепочек сопряженных двойных связей и т. д.).

Влияние структуры вещества на его свойства весьма наглядно выражается в химии полимеров. Гибкая и длинная макромолекула полимера может принимать самые различные формы в пространстве (без разрыва ван-дер-ваальсовых связей между мономерами) — спирали, клубка и т. д. Это сказывается на взаимодействиях ее с другими молекулами, а значит, и на свойствах поли-

мера. Макромолекулы стереоизомерных полимеров имеют разные пространственные конфигурации. Так, для полиолефинов известны три вида строения молекулы: а) все заместители находятся по одну сторону плоскости цепи и порядок расположения этих групп в мономерных (элементарных) звеньях одинаков — изотактическая структура; б) заместители расположены поочередно выше и ниже плоскости основной цепи — синдеотактическая структура; в) заместители имеют случайное, хаотическое расположение — атактическая структура. Полиолефины, которым присуща та или иная из этих структур, проявляют резко различные свойства. «Полимерные стереоизомеры, — пишут И. П. Лосев и Е. Б. Тростянская, — значительно отличаются по физическим и механическим свойствам. Резко различны их способность к кристаллизации, температуры плавления полимеров, растворимость, эластичность, твердость, предел прочности при растяжении» [1].

Богатейший экспериментальный материал химии дает полное основание считать, что структура и структурные изменения по отношению к качеству играют такую же роль, что и количество. Через диалектику категорий структура (строение) — свойство в химии более глубоко раскрывается и конкретизируется механизм качественных изменений. Это, естественно, ставит другую проблему — проблему диалектики количество — качество — структура, исследованием которой уже начинают заниматься советские философы [2].

В процессе развития естествознания возникают, таким образом, новые философские проблемы, накапливается экспериментальный материал для разработки новых философских категорий, создается основа для более глубокого раскрытия и дальнейшего развития законов диалектики.

---

[1] И. П. Лосев, Е. Б. Тростянская. Химия синтетических полимеров. М., 1960, стр. 58.

[2] См.: В. В. Агудов. Количество, качество, структура; С. Е. Зак. Качественные изменения и структура. «Вопросы философии», 1967, № 1.

Глава девятая

ПРОЦЕСС И МЕТОДЫ ПОЗНАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Признание объективности окружающего мира и способности сознания человека отражать его — основа научного познания. Природа — единственный источник всех наших знаний. Она, по меткому выражению философа-материалиста Б. Спинозы, «причина самой себя», причина существования и сущности всех вещей и явлений, их качеств и свойств. Конечной целью познания является удовлетворение общественно необходимых практических потребностей. Опираясь на данные естествознания и общественных наук, исходя из многовекового опыта человечества, научная философия утверждает, что мир и закономерности его развития познаваемы. Само познание представляет собою процесс непрерывного углубления в сущность предметов и явлений, движения мысли от незнания к знанию, от знания недостаточного, неполного, несовершенного к знанию более полному, глубокому.

При выработке законов познания научная философия опиралась на историю общественных и естественных наук, раскрывающих процесс развития человеческого знания, его движение; на изучение поведения высших животных, умственного развития ребенка и истории языка, позволяющих воссоздать картину возникновения и развития познавательных способностей человека; на данные психологии и физиологии, дающие возможность понять как ход самого процесса мышления, так и его материальные основы.

Научная философия показала, что процесс познания имеет свои стадии, определенные ступени развития, тесно связанные между собой и вытекающие друг из друга.

В. И. Ленин раскрыл сущность диалектико-материалистической теории познания как теории отражения, показал конкретные формы отражения действительности на каждой ступени, значение практики как основы познания, критерия истины. «От живого созерцания к абстрактному мышлению *и от него к практике* — таков диалектический путь познания *истины*, познания объективной реальности» [1].

Первоначальное накопление химических фактов

Человек, выделившийся из животного царства, начал познание материального мира с изучения свойств и качеств обычных тел, доступных зрению, обонянию, осязанию, т. е. с изучения того, что непосредственно его окружало и так или иначе было включено в процесс труда. Первоначально требовалось просто осмыслить, установить природу вещей и явлений, с которыми он сталкивался в борьбе за существование, определить возможность их использования для удовлетворения насущных нужд. На протяжении сотен веков, когда медленно в ходе трудовой деятельности развивалось сознание, человек накапливал опыт, факты и сведения о телах и явлениях природы.

С незапамятных времен человеку известны некоторые металлы. Но, видимо, не случайно первыми попали в его руки золото, серебро, медь, олово, свинец, метеорное железо. Именно они встречаются в природе в свободном, самородном состоянии, легко заметны благодаря своему блеску и после простейшей обработки могут быть использованы в качестве орудий труда, предметов обихода и украшений.

На каком-то этапе развития человек сумел подчинить себе огонь. Огонь стал первым эффективным средством химического воздействия. Появилась возможность варить пищу, печь хлеб, обрабатывать различные предметы из наиболее доступных природных материалов. Наблюдая за действием огня на различные вещества, человек овладевал такими процессами, как выплавка металлов путем накаливания руд с углем, получение сплавов, например меди с оловом (бронза).

Изучение памятников материальной культуры показывает, что еще за три тысячи лет до нашей эры сущест-

---

[1] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 152—153.

вовало производство стекла, цветной эмали. В Месопотамии из руд добывали медь, серебро, свинец. Искусством получения некоторых важных веществ хорошо владели в древней Индии, Китае. Уже в XV—X вв. до н. э. были известны такие природные красители тканей, как пурпур, индиго, ализарин. В древнем мире владели искусством приготовления лекарств из природных материалов, органических удобрений и т. д. Все эти и другие знания и практические навыки были приобретены под давлением практических требований жизни путем непосредственного живого созерцания, восприятия окружающего мира. В том отдаленном прошлом и следует искать истоки науки о превращениях веществ.

Длинный и сложный путь прошла химия, прежде чем стала одной из важнейших наук о природе с мощной технической базой, огромными возможностями и блестящими перспективами. В силу определенных общественно-исторических условий геометрия и астрономия вначале далеко обогнали химию. Ориентация в пространстве и времени была на раннем этапе развития человечества одной из важнейших потребностей. Это диктовалось необходимостью измерять земельные площади и более или менее точно определять время наступления таких важных для сельскохозяйственной практики событий, как смена времен года, разливы рек и т. д. Объекты, которые исследовались геометрией и астрономией, — земельные участки и звездное небо — всегда находились в распоряжении человека. Да и способы их изучения и измерения были довольно просты. Объект же изучения химии более сложен, его исследование невозможно без тяжелой, а порой и опасной предварительной работы.

В наше время принято считать местом зарождения химии Египет. Химия рассматривалась древними египтянами как великое таинство и всецело находилась в руках служителей культа. Из надписей на стенах старых храмов видно, что в них производились операции с химическими веществами. Каста жрецов ревностно охраняла эти знания, которые приносили ей немалые доходы.

Собрание различных практических сведений о превращениях веществ назвали химией. Полагают, что название науки происходит от древнего наименования Египта — Хэм или Хэми. Уцелевшие трактаты тех далеких времен содержат описание операций по возгонке, филь-

трации, прокаливанию, растворению и т. д. В Египте же возникла идея о превращении неблагородных металлов в благородные — золото и серебро при помощи мистического «философского камня». В VII в. арабы, завоевавшие Египет, использовали накопленные там химические знания, открыли ряд солей, азотную и серную кислоты и некоторые другие вещества. Они же добавили к термину «химия» арабскую приставку «ал».

Для алхимии характерен очень медленный темп развития. Это объяснялось крайне низким уровнем средневекового производства, реакционной идеологией правящих классов и особенно господством церкви. Невежественные служители церкви отвергали ценность эксперимента, ретиво преследовали всякие попытки найти естественные причины явлений природы. Все это сильно затрудняло проведение химических экспериментов, которые, кстати, не всегда были понятны самим алхимикам. Не удивительно, что алхимия в Западной Европе превратилась, по сути дела, в антинаучное направление. Большинство алхимиков было охвачено идеей получения «философского камня» и «элексира мудрости», способных якобы исцелять все болезни и исправлять характер человека.

Однако алхимики накопили много важных эмпирических данных. Они открыли и описали ряд новых простых веществ и соединений: фосфор, мышьяк, висмут, многие соли, соляную и азотную кислоты, играющие огромную роль в современной химической промышленности. Алхимики впервые применили царскую водку (смесь азотной и соляной кислот) для растворения серебра с целью отделения его от золота и т. д. Поскольку отдельные вещества имеют специфическую окраску, обладают характерным запахом (сера, хлор, эфиры, аммиак и т. д.), то в первую очередь описывались эти непосредственно воздействующие на органы чувств свойства веществ, а также такие, как агрегатное состояние, форма кристаллов или аморфность и т. д. В 1669 г. немецкий алхимик Бранд, прокаливая сухой остаток выпаренной человеческой мочи, наблюдал его зеленое свечение в темноте. Это способное к свечению вещество получило название «носитель света», или по-гречески «фосфор». Так же чисто случайно, эмпирически, во время безуспешных попыток

получить золото немецкий алхимик Бётгер открыл в 1701 г. фарфор.

Иногда алхимики осуществляли с веществами ряд довольно сложных манипуляций. Они подвергали их нагреванию, растворению, перегонке, фильтрации, воздействию кислот и т. д. В процессе такой обработки алхимики получали данные о растворимости, температурах плавления, замерзания и кипения вещества, о его способности образовывать те или иные соединения под воздействием других веществ.

Однако в средние века возникло и стало крепнуть другое направление в развитии химических знаний, менее заманчивое и эффективное по своим целям, но более действенное. Это практическая, ремесленная химия. С первых шагов своего существования она использовала накопленный веками опыт и знания для разнообразных практических целей: крашения тканей, изготовления пороха, лекарств и т. д. В результате деятельности химиков-практиков уже с X в. появляются сборники практических рецептов. В них авторы-технологи описывали приемы изготовления и применения красок, операции ювелиров, кожевников и т. д.

Особое распространение ремесленная химия получила в эпоху Возрождения. Это было время, когда наступил крутой подъем общественного производства и культуры вообще. В ту эпоху в упорной борьбе со схоластикой и религиозным мировоззрением вырабатываются новые научные методы исследования, отбрасываются многие обветшалые догматы. Тогда же, хотя и не в столь очевидной форме, как в других науках (механике, астрономии, математике), определенные успехи наблюдаются в химии. Однако до XVII в. она рассматривалась лишь как вспомогательное средство. Исследования производились только ради какой-то практической задачи. Лишь со второй половины XVII в. химия стала приобретать черты самостоятельной науки.

Возникновение химии как науки

Задача науки — познание объективных закономерностей материального мира с целью их практического использования. Посредством наблюдения, опыта, эмпирического изучения фактов, теоретического их обобщения и проверки этих выводов на практике решает наука свою задачу. Отсюда в содержании каждой науки раз-

личают: данные наблюдений и экспериментов, эмпирический материал, накопленный в ходе развития, и научные предположения — гипотезы, подлежащие дальнейшей проверке опытом, теории и законы — результаты обобщения наблюдений и фактического материала. Обе эти стороны находятся в единстве, взаимообусловливают друг друга, образуют основу науки. Пренебрежение к наблюдению и эксперименту, одностороннее преувеличение роли абстрактного мышления приводит к беспочвенным умозаключениям и идеализму. И наоборот, голый эмпиризм, принижение теоретического мышления закрывают путь научному познанию, лишают возможности проникать в существо явлений, раскрывать их закономерную связь.

Фактический материал — это фундамент, необходимая основа науки. Факты — это «воздух ученого», говорил И. П. Павлов, источник существования и развития науки. «В любой научной области — как в области природы, так и в области истории — надо исходить из данных нам *фактов,* ... нельзя конструировать связи и вносить их в факты, а надо извлекать их из фактов и, найдя, доказывать их, насколько это возможно, опытным путем» [1].

Но взятые сами по себе факты еще не представляют науки. Это лишь масса сырого, неоформленного материала. Суть научного познания заключается в единстве эмпирического исследования и теоретической деятельности. «Мысль, совсем свободная и как таковая — оставленная себе самой, ничего не может произвести, — писал Д. И. Менделеев, — потому что душе науки, т. е. ее законам, гипотезам и теориям, нужно тело, материальное содержание, чтобы вышел организм науки. Одни мертвые факты, как и одни свободные умозрения, науки еще не составляют» [2]. Наука возникает лишь тогда, когда с помощью теоретического мышления, на основе данных практики формируются основные понятия, выдвигаются гипотезы, превращающиеся в ходе практической проверки в теории, открываются законы, отражающие самые глубинные, объективные связи природы. Важнейшей особенностью науки является ее способность на основании

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 370—371.
[2] Д. И. Менделеев. Соч., т. 4. ОНТИ, 1937, стр. 284.

открытых законов предвидеть направление и развитие явлений, предсказывать новые факты.

Большая заслуга в становлении химической науки принадлежит английскому химику Р. Бойлю. Выдвинув девиз «Ничего со слов», он открыл широкое наступление на средневековую схоластику, положил начало целеустремленному опытному исследованию в химии. В работе «Химик-скептик» (1661) Бойль обрушился на алхимию и ее приверженцев. Он заявил, что алхимики смешивают и варят по старым рецептам, поэтому новое может возникнуть только случайно. Книги алхимиков ничего не говорят о природе вещей, а то, что в них написано, — чистая фантазия. Алхимики не в состоянии дать объяснения свойствам тел и многообразию явлений природы.

У Бойля эксперимент занимает центральное место в любых исследованиях. Только опыт, а не бездоказательные утверждения позволяет делать научные выводы. Данное положение стало стержнем всех химических исследований последующих столетий. Бойль одним из первых пытается ввести в химию идею атомистики. Исходя из свойств корпускул (атомов), он стремится объяснить природу химического сродства, образование сложных тел, т. е. химических соединений. Его подход к химическим реакциям как к процессам соединения и разъединения различных атомов представляет собой первую попытку теоретического осмысливания химических явлений. Он открывал путь к созданию химической атомистики.

Бойль впервые дает обоснованное определение химического элемента как вещества, не поддающегося разложению никакими средствами. Определив предмет химии — изучение элементов и их соединений, — он поставил ее на научную материалистическую почву. Бойль открыл многие реакции, разработал способы качественного химического анализа, причем полагал, что анализ должен проверяться синтезом. От Бойля пошло стремление химиков разлагать тела на их составные части, что в дальнейшем привело к многочисленным открытиям. Все это дало основание Ф. Энгельсу сказать: «Бойль делает из химии науку» [1].

Однако Бойль допустил серьезную ошибку, разделив свойства тел на первичные и вторичные. Он считал, что

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 501.

материи объективно присущи только первичные, чисто механические свойства: форма, размеры, движение, покой и т. д. Все остальные свойства — вторичные. Они носят субъективный характер. К ним он причисляет цвет, вкус, запах и т. д., которые, по его мнению, не существуют в природе, а возникают при воздействии первичных свойств на органы чувств.

Механистические взгляды Бойля легли в основу идеалистического учения о «первичных» и «вторичных» качествах материи, созданного его современником и соотечественником философом Д. Локком.

С более правильных, научных позиций выступил в в XVIII в. М. В. Ломоносов. Являясь атомистом, он, однако, в противоположность Бойлю, признавал объективность всех качеств и свойств, не разделяя их на первичные и вторичные. Установить причины, вызывающие наличие и изменение цвета, вкуса, запаха, так же как и выделение и поглощение тепла, переход из одного агрегатного состояния в другое и т. д., возможно, с точки зрения Ломоносова, только при условии знания строения корпускул и их свойств. Но как этого достичь, если корпускулы совершенно недоступны зрению, нашим чувствам? «Должно разумом достигать, — указывал Ломоносов, — потаенного безмерною малостию виду, меры, движения и положения первоначальных частиц, смешанные тела составляющих»[1]. Эти слова созвучны с позднейшим высказыванием Ф. Энгельса: «А здесь волей-неволей приходится *мыслить*: атом и молекулу и т. д. нельзя наблюдать в микроскоп, а только посредством мышления»[2]. М. В. Ломоносов явился предвозвестником и первым представителем более высокой ступени развития познания физических и химических явлений, характеризующейся возрастанием роли теоретического мышления.

Бойль в становлении химии как науки сделал лишь первый шаг. Решающим здесь было применение количественного метода исследования. Этим химия обязана М. В. Ломоносову. Весы, впервые примененные Ломоносовым для исследования химических реакций, стали вскоре необходимым инструментом для каждого химика. Ломоносов вырвал у природы один из важнейших ее се-

[1] М. В. Ломоносов. Полн. собр. соч., т. 2, стр. 353.
[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 519—520.

кретов — закон сохранения веса вещества (массы). Он установил, что ни при каких химических превращениях ничто не исчезает бесследно: вес исходных продуктов реакции всегда равен весу полученных. К тому же выводу независимо от Ломоносова пришел и французский химик Лавуазье, который тоже придерживался правила: «Ни одного эксперимента без весов». Так впервые был сформулирован основной закон естествознания — закон Ломоносова—Лавуазье. Он является естественнонаучным выражением фундаментального принципа диалектического материализма о вечности и неуничтожимости материи и известен в своей более общей формулировке как закон сохранения материи и движения. Это был один из первых законов химии.

Новый, количественный, способ исследования быстро завоевал всеобщее признание. Он сыграл огромную роль в дальнейшем развитии химии, способствуя установлению ряда других важнейших закономерностей. Не случайно вторая половина и особенно последняя четверть XVIII в. столь богаты экспериментальными открытиями в химии. Были открыты такие важнейшие элементы, как кислород, водород, азот, хлор; газообразные соединения: аммиак, сернистый ангидрид, окись и двуокись углерода, мышьяковистый водород. Если к началу XVIII в. было известно всего лишь 13 элементов, то к концу столетия их стало 32.

К концу XVIII в. Лавуазье создает кислородную теорию горения и обжига металлов. На смену мистическому флогистону приходит первая, действительно научная, материалистическая, химическая теория. С помощью количественного метода исследования в самом начале XIX в. Пруст открывает и в споре с Бертолле защищает закон постоянства состава.

Таким образом, уже к началу XIX в. в химии накопился не только богатый экспериментальный материал о строении и свойствах веществ, но выработались и такие важные научные понятия, как «химический элемент», «сложное» и «простое» вещество, «химическое соединение» и «механическая смесь» и т. д. В практике химии утверждается точный количественный подход к изучению всех процессов. При объяснении последних химия получила возможность опираться на некоторые уже установленные законы и теории, позволявшие давать этим процессам правильное материалистическое объяснение. В

химии возрастает роль теоретического мышления, она перестает быть бесформенным нагромождением фактов. К этому периоду и относится становление химии как науки.

Роль гипотезы в химии

Превращение химии в самостоятельную отрасль естествознания, расцвет ее неразрывно связан со все возрастающей ролью теоретического мышления. Наиболее наглядно это выразилось в широком применении гипотез.

Гипотезы как прием научного исследования не сразу получили признание. Многие ученые-эмпирики выступали против их использования. Они истолковывали ставшее крылатым выражение Ньютона «Hypothesis non fingo» («Гипотез я не делаю») как требование полного отказа науки от гипотезы вообще. Противоположную позицию в этом вопросе занимал М. В. Ломоносов.

Правильно понимая роль и силу теоретического мышления, он не только сам широко применял гипотезы, но и активно отстаивал право последних на существование. Так, в ответ на брошенное ему обвинение, что он хочет достичь чего-то большего, чем одни опыты, Ломоносов писал: «Как будто естествоиспытатель действительно не имеет права подняться над рутиной и техникой опытов и не призван подчинить их рассуждению, чтобы отсюда перейти к открытиям. Разве, например, химик осужден на то, чтобы вечно держать в одной руке щипцы, а в другой тигель и ни на одно мгновение не отходить от углей и пепла»[1]. Гипотезы, утверждал Ломоносов, представляют собой единственный путь, которым величайшие люди дошли до открытия самых важных истин.

С помощью выдвинутой им атомистической гипотезы, лишь на основе которой химия, по мнению Ломоносова, могла приобрести черты подлинной науки и в которой он видел единственное средство дать химическим явлениям причинное истолкование, Ломоносов создал свою молекулярно-кинетическую теорию теплоты, в общих чертах сходную с принятой ныне, объяснил переход тел из одного агрегатного состояния в другое, высказал идею о возможности существования абсолютного нуля температуры

---

[1] М. В. Ломоносов. Полн. собр. соч., т. 3, стр. 220.

и дал объяснения многим другим физическим процессам (например, растворению).

Утверждение гипотез в науке в качестве приема научного исследования было связано не только с определенным уровнем экспериментов, проверочного опыта, но и с новым этапом развития естествознания, когда последнее, выйдя из стадии узкоэмпирического собирания фактов, встало на путь широких теоретических обобщений и научных предвидений, когда важную роль стало играть теоретическое мышление естествоиспытателей. Определив, что гипотеза является «формой развития естествознания», Ф. Энгельс тем самым указал на роль теоретического мышления в развитии естествознания. В физику и химию теоретическое мышление стало проникать, преодолевая ограниченность узкого эмпиризма и связанную с ним односторонность метафизического мышления, в форме атомной гипотезы. Достигнутые на ее основе значительные успехи в изучении структуры и физико-химических свойств веществ, законов их превращений позволили Энгельсу сказать: «Новая эпоха начинается в химии с атомистики..»[1]. Для Энгельса это означало наступление качественно нового этапа в развитии естествознания вообще, связанного с возросшей ролью теоретического мышления.

Но признав обязательным условием для развития естествознания активность теоретического мышления, Энгельс ясно показал, что мыслить — значит и предвидеть, что гипотеза может стать «формой развития» только при ведущей роли теоретического мышления, когда последнее будет направлять опытное исследование на раскрытие сущности явлений природы. Поэтому не случайно вопреки мнению ряда историков науки, ведущих начало современной химии от Лавуазье на том основании, что он ввел в химию количественый анализ и сформулировал закон сохранения веществ, Энгельс писал: «... не Лавуазье, а Дальтон — отец современной химии»[2].

Все дальнейшее развитие науки подтвердило правоту мысли Энгельса о ведущей роли теоретического мышления. Особенно ярко это видно на примере атомистического учения, под знаком которого прошел в химии XIX

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 608.
[2] Там же.

век. После опытного определения молекулярных и атомных весов итальянским ученым С. Канницаро, экспериментальных работ французского физика Ж. Перрена по изучению распределения и движения частиц в так называемых суспензиях (явление броуновского движения) и вычисления Перреном числа молекул в одной грамм-молекуле газа древнейшая гипотеза об атомистическом строении вещества получила неоспоримое практическое подтверждение. Она превратилась в атомно-молекулярное учение, наиболее плодотворное в современной физике и химии. Все важнейшие открытия в органической, неорганической и развившейся в конце XIX в. физической химии или явились следствием применения учения о прерывном строении вещества, или так или иначе опирались на атомистику. Теория химического строения органических соединений Бутлерова, периодический закон химических элементов Менделеева, электролитическая теория диссоциации и т. д. — все было построено на атомистике и являлось дальнейшим развитием и углублением различных ее сторон. Основой для вновь возникших, наиболее плодотворных теорий новейшей физики: квантов, теории относительности, элементарных частиц — послужили также атомистические идеи, распространенные уже на всю материю, ее свойства и формы существования, и сами получившие благодаря этому дальнейшее развитие и углубление.

В современном естествознании под гипотезой обычно понимается теоретическое предположение о сущности, причинах непосредственно наблюдаемых явлений, о связях и закономерностях, объясняющих известную совокупность явлений. Во всех случаях выдвижение гипотезы диктуется интересами активного, целенаправленного научного исследования, ибо гипотезы помогают глубже проникнуть в сущность изучаемых явлений природы, полнее раскрыть ее закономерности. Научная гипотеза, объясняя известные важнейшие явления той или иной области естествознания в соответствии с современными данными науки и основами материалистического мировоззрения, формулируется так, чтобы ее можно было проверить в последующем на практике.

Ф. Энгельс считал, что возникновение гипотезы обусловлено открытием новых фактов, исключающих прежнее объяснение ранее известных фактов данного круга

явлений. «Наблюдение открывает какой-нибудь новый факт, делающий невозможным прежний способ объяснения фактов, относящихся к той же самой группе. С этого момента возникает потребность в новых способах объяснения, опирающаяся сперва только на ограниченное количество фактов и наблюдений» [1].

Первоначально возникнув как обобщение накопленных новых опытных фактов и данных, гипотеза затем подвергается проверке дальнейшим опытным материалом, который «устраняет одни из них, исправляет другие, пока, наконец, не будет установлен в чистом виде закон» [2]. Будучи формой объяснения фактов, гипотеза является, таким образом, необходимым этапом на пути к открытию закона. «Если бы мы захотели ждать, — указывает Энгельс, — пока материал будет готов *в чистом виде* для закона, то это значило бы приостановить до тех пор мыслящее исследование, и уже по одному этому мы никогда не получили бы закона» [3].

Наглядным процессом перехода гипотезы в закон, от одного уровня знаний к другому, более высокому, служит открытие и утверждение периодического закона. Первоначально положение о периодической зависимости свойств элементов от их атомного веса Менделеев сам рассматривал как гипотезу. Он прекрасно понимал, что выдвинутое им положение, хотя и в высшей степени вероятное, не будет являться законом, а будет считаться гипотезой до тех пор, пока его не проверили. Каков же путь проверки? «Утверждение закона возможно только при помощи вывода из него следствий, без него невозможных и не ожидаемых, и оправдания тех следствий в опытной проверке. Поэтому-то, увидев периодический закон, я со своей стороны (1869—1871) вывел из него такие логические следствия, которые могли показать — верен он или нет» [4].

К этим следствиям относятся исправления Менделеевым величины атомных весов девяти малоисследованных элементов (из 64-х известных в то время) в соответствии с теми местами, которые они заняли в периодической системе; предсказание двенадцати еще не открытых эле-

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 555.
[2] Там же.
[3] Там же.
[4] Д. И. Менделеев. Избр. соч., т. 2, 1934, стр. 509.

ментов с описанием их свойств, которые должны были заполнить пустые клетки, образовавшиеся в таблице после размещения Менделеевым всех известных элементов согласно периодическому закону; наконец, предсказание для трех неизвестных еще элементов всех их важнейших физико-химических свойств и даже путей или способов, какими могут они быть открыты. Например, в отношении предсказанного им одного из этих трех элементов (эка-алюминия) он сделал предположение, т. е. выдвинул гипотезу, что «этот металл будет обладать большей летучестью, чем алюминий, а потому можно надеяться, что он будет открыт спектральным исследованием». И действительно в 1875 г. французский химик Лекок де Буабодран, не зная о работах Менделеева, с помощью спектрального анализа обнаружил в цинковой обманке элемент, названный им галлием, соответствующий предсказанному Менделеевым эка-алюминию. «Я думаю, нет необходимости настаивать на огромном значении подтверждения теоретических взглядов господина Менделеева относительно плотности галлия», — писал впоследствии сам Лекок де Буабодран. В 1880 г. шведский ученый Л. Нильсон открыл предсказанный Менделеевым эка-бор, назвав его в честь своей страны скандием. «Следовательно, не остается никакого сомнения, что в скандии открыт эка-бор, — с восторгом сообщал Нильсон. — Так подтверждаются самым наглядным образом мысли русского химика, позволившие ему не только предвидеть существование названного простого тела, но и наперед дать его важнейшие свойства». Наконец, немецкий ученый К. Винклер в 1886 г. открывает третий описанный Менделеевым элемент (эка-силиций) и называет его германием.

По поводу замечательного предвидения Д. И. Менделеева Винклер писал: «Вряд ли может существовать более яркое доказательство справедливости учения о периодичности элементов, чем открытие до сих пор гипотетического эка-силиция; оно составляет, конечно, более чем простое подтверждение смелой теории, оно знаменует собою выдающееся расширение химического поля зрения, гигантский шаг в области познания» [1]. Открытия галлия,

---

[1] Цит. по: Н. П. Агафошин. Избранные главы общей химии, стр. 45.

скандия, германия с изумительной точностью подтвердили предсказания Менделеева, превратили гипотезу о периодичности в строго научную истину, в закон. Укрепителями периодического закона назвал сам Менделеев Лекок де Буабодрана, Нильсона и Винклера. Почти все теоретические предсказания, которые Менделеев сделал на основе открытого им закона, еще при его жизни были подтверждены на практике.

Примером превращения гипотезы в теорию служит также создание теории химического строения. Основой ее, как известно, послужила гипотеза о том, что свойства химических соединений определяются их составом и химическим строением. Практический синтез, предсказание многочисленных изомеров превратили эту гипотезу в научную теорию. Тесная, неразрывная связь гипотезы, теории, закона и практики раскрывается в ходе научного исследования.

Индукция и дедукция, анализ и синтез как методы познания

Еще Д. И. Менделеев в свое время неоднократно подчеркивал, что изучать в научном смысле значит: а) не только добросовестно изображать или просто описывать, но и узнавать отношение изучаемого к тому, что известно; б) измерять все то, что может подлежать измерению; в) определять место изучаемого в системе известного, пользуясь как качественными, так и количественными сведениями; г) находить закон; д) составлять гипотезы о причинной связи между изучаемыми явлениями; е) проверять следствия гипотезы опытом; ж) составлять теорию изучаемого [1]. Это с необходимостью требует как наличия определенных методов исследования, так и умения пользоваться ими.

Методом познания, дающим общее направление, методологические установки для исследования всех без исключения тел и явлений реального мира, является, как известно, диалектический метод. В конкретном исследовании наряду с общими принципами диалектико-материалистического метода используются частные научные методы. Можно выделить два рода специальных методов, используемых в процессе познания химической формы движения. Это, во-первых, узкоспециальные методы, выработанные и предназначенные для изучения определен-

[1] См.: Д. И. Менделеев. Основы химии, т. I, 1934, стр. 353.

ных сторон химических соединений и явлений. К числу их относятся, например, физический метод рентгеноструктурного анализа, с помощью которого исследуется строение веществ, или широко применяемые в квантовой химии методы приближенного расчета электронной структуры молекул: метод валентных связей (электронных пар) и молекулярных орбит (МО), используемый обычно в форме метода линейных комбинаций атомных орбит (ЛКАО), и т. д. Во-вторых, применяемые почти во всех науках методы: наблюдение и эксперимент, построение гипотез, индукция и дедукция, анализ и синтез, создание научных абстракций, моделирование и т. д. Область применения данных методов значительно более широка, хотя и не беспредельна.

К числу довольно общих методов научного познания, выработанных в процессе развития человеческого мышления и исторической практики, относятся индукция и дедукция. Как известно, все понятия, законы, теории науки выражаются в форме суждений. Такие утверждения или отрицания, как, скажем, «хлор — газ», «кислород получается при нагревании бертолетовой соли», «соляная кислота не содержит кислорода», «химические свойства элемента находятся в периодической зависимости от величины его атомного веса» и т. д. — все это суждения.

Суждение в химии — это одна из форм отражения химических процессов и явлений в сознании. Образование суждения есть результат движения мысли, создания обобщающих выводов, получения знания в виде законов, теорий как непосредственно в ходе химической практики (производства, эксперимента), так и в процессе абстрактной деятельности мышления, исходящего из накопленных данных живого созерцания. Углубление в познание мира веществ, развитие химии выражается также в образовании все новых и новых подтверждаемых практикой суждений.

В образовании новых суждений индукция и дедукция играют важную роль. При индуктивном способе познание движется от частного, единичного к общему. На основе изучения определенных частных химических явлений, имевшихся суждений и фактов делается умозаключение, выводится общий вывод, устанавливаются общие свойства, существенные и закономерные связи веществ. Индуктивный метод опирается на опыт, наблюдение и изу-

чение отдельных фактов, явлений, живое созерцание. Лишь на этой основе с помощью анализа, описания, сравнения эмпирических данных можно посредством индукции получать новые знания о неизвестном.

Так, при наблюдении соединения с водой кислотного окисла SO_2 установлено, что он хорошо растворим и взаимодействует с водой, образуя сернистую кислоту (покраснение лакмуса) H_2SO_3. На основании неоднократно повторенных подобных частных наблюдений делается заключение, что SO_2 всегда (при одних и тех же условиях) реагирует с водой, образуя сернистую кислоту. От частных случаев мысль поднимается к общему положению, определяющему взаимодействие SO_2 и воды. Подобного рода наблюдения и операции с рядом других кислотных окислов CO_2, SO_3, N_2O_5 и т. д. позволяют сделать еще более широкое обобщение: при взаимодействии кислотных окислов с водой образуются гидраты окислов неметаллов, или кислоты. Таково суждение, полученное в результате индуктивного умозаключения и распространяющееся на все случаи данного рода.

К особенно достоверным суждениям индукция ведет, когда она опирается на знание причин наблюдающихся частных случаев или на законы, определяющие общие свойства веществ. Например, суждения о том, что Na всегда при обычных условиях активно соединяется с хлором, образуя NaCl, и с серой, образуя Na_2S, неоспоримо верны, хотя наблюдалось ограниченное число, а не все случаи данных реакций. Эти суждения верны, во-первых, по причине значительной разницы в величинах электроотрицательностей Na, с одной стороны, и Cl и S — с другой; во-вторых, потому, что они находятся в соответствии с законом валентности и законом постоянства состава, в силу которого при одних и тех же условиях каждое химически чистое вещество имеет одни и те же свойства и состав.

Примером успешной научной индукции в химии является установление закона сохранения массы веществ Ломоносовым в процессе проверки опытов Бойля с обжигом металлов. К этому же ряду примеров относится создание водородной теории кислот Либихом в результате опытного исследования кислородсодержащих и бескислородных (HCl) кислот, а также выведение эмпирических правил постоянства состава, паев Прустом и

Рихтером, правил, ставших впоследствии на основе атомных представлений соответствующими законами стехиометрии, и многие другие важные открытия и обобщения.

Итак, научная индукция на основе анализа фактов, добытых в процессе опытного исследования, позволяет образовывать суждения, делать выводы о тех или иных общих свойствах и закономерных связях веществ, устанавливать законы химических превращений. Однако более полно и глубоко раскрыть связи веществ, законы химических явлений можно лишь при использовании наряду с индуктивным и дедуктивного метода.

Дедукция — способ рассуждения от общего (химический закон, постулат, правило и т. д.) к частному, к отдельным химическим фактам. Так, опираясь на закон сохранения массы веществ, постоянства состава, паев, кратных отношений, делаются частные выводы о составе отдельных веществ, выводятся их формулы, производятся расчеты различных химических реакций. Весь органический синтез основан на теории химического строения, которая позволяет исходя из закономерной связи свойств вещества с данным строением предвидеть и синтезировать другие вещества с подобным строением и схожими свойствами.

Дедукция в химии в связи со становлением этой науки на прочный теоретический фундамент играет все большую и большую роль. Наиболее широкое применение дедуктивного метода связано с утверждением атомной и молекулярной теории, теории химического строения и внедрения в органическую химию электронных представлений, развития химической термодинамики, кинетики, учения о химическом равновесии. Эти важнейшие теории и учения являются в химии основой для дедуктивного исследования, предсказания и открытия многих частных случаев и химических фактов, в последующем подтверждаемых практикой.

Дедукция и индукция находятся в неразрывной диалектической связи. Ф. Энгельс особо подчеркивал взаимосвязь индукции и дедукции. Они «связаны между собой столь же необходимым образом, как синтез и анализ. Вместо того чтобы односторонне превозносить одну из них до небес за счет другой, надо стараться применять каждую на своем месте, а этого можно добиться лишь в

том случае, если не упускать из виду их связь между собой, их взаимное дополнение друг друга» [1].

В процессе познания химических веществ и явлений важное место занимают анализ и синтез. При аналитическом исследовании тела и процессы расчленяются, выделяются их составные части, связи и стороны для более подробного изучения. Анализ дает возможность выделить существенные и несущественные стороны и связи явления, их качества и свойства, определить каждое из них с точки зрения значения и роли в рассматриваемом едином целом. Это позволяет отделить общее от единичного, необходимое от случайного, главное от второстепенного. На этом принципе основан, как известно, целый раздел химической науки — аналитическая химия, которая главную свою задачу — определение химического состава вещества — решает с помощью качественного и количественного анализа.

Но анализ — лишь начало процесса познания, ибо знание отдельных частей предмета не дает еще знания о предмете в целом. Необходимо изучить взаимообусловленность отдельных частей в предмете, рассмотреть их в органической связи. Эта задача решается с помощью противоположного анализу приема научного исследования — синтеза.

В процессе синтеза происходит практическое или мысленное соединение составных частей изучаемого объекта, его свойств и связей, расчлененных в результате анализа, осуществляется изучение предмета или явления в целом. Синтез раскрывает неразрывное диалектическое единство и взаимосвязь частей целого, позволяет понять единичное и общее, конкретное и абстрактное, различное и тождественное как единство противоположностей.

Являясь взаимно противоположными методами познания, анализ и синтез и как практические методы и как приемы мышления, однако, не оторваны друг от друга. «Мышление состоит столько же в разложении предметов сознания на их элементы, сколько в объединении связанных друг с другом элементов в некоторое единство. *Без анализа нет синтеза»* [2]. В. И. Ленин соединение анализа

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 542—543.
[2] Там же, стр. 41 (курсив мой. — *Н. Б.*).

и синтеза, «разборку частей» и суммирование их вместе рассматривал как один из элементов диалектики.

Развитие химической науки наглядно раскрывает диалектику анализа и синтеза, огромное гносеологическое значение этих методов исследования. На первом этапе развития химии основным ее практическим методом был анализ. Это совершенно естественно, ибо первоначально требовалось изучить свойства соединений, их состав, вывести эмпирическую формулу, прежде чем приступить к систематизации, установлению общих закономерностей, внутренних связей. Отсюда стремление разложить исходные соединения на простейшие составные части действием температуры, кислот и т. д. Этому способствовала выработка и внедрение в химию частного метода количественного исследования и разработка Лавуазье на этой основе элементарного анализа. Последний заключался в совокупности методов количественного определения содержания в органических соединениях C, H_2, N_2, S, P, галогенов и других элементов. Разложение исследуемого органического соединения до простых неорганических веществ осуществлялось главным образом путем их окисления или восстановления. Получающиеся в результате этого CO_2, N_2, H_2O и т. д. улавливались и в специальных приборах производилось их количественное определение по весу или объему. Являясь теоретиком «аналитического этапа в органической химии», Лавуазье определял последнюю как науку аналитическую.

Господство практического аналитического метода не означало, конечно, что и в мышлении химики не поднимались выше анализа. Хотя анализу и синтезу как мыслительным процессам исторически предшествует предметная аналитико-синтетическая деятельность людей, это не исключает синтетической деятельности мышления с самого начала. Это подтвердил Ломоносов, выдвинув атомно-молекулярную гипотезу на основании некоторых данных анализа.

С помощью аналитического метода исследования, качественного и количественного изучения его результатов химиками были сделаны многие широкие и правильные обобщения. Установлен состав ряда химических соединений, открыты эмпирические правила постоянства состава, эквивалентов, в органической химии открыты сложные

углеродистые радикалы, лежащие в основе органических соединений, введено понятие гомологии, изомерии и т. д.

Но синтетическая мысль химиков в период господства аналитического метода ввиду еще полной неразвитости практического синтеза была неизбежно ограниченной, односторонней. Исходя только из состава веществ, рассматривая каждое химическое соединение как механическую сумму выделенных посредством анализа составляющих его частей, химики не доходили до понимания их взаимной связи. Следствием этого явились метафизика и идеализм в определении как предмета, так и взаимной связи неорганической и органической химии, агностические взгляды, утверждающие непознаваемость строения органических соединений, и т. д. Именно поэтому, как справедливо заметил Энгельс, «химия, в которой преобладающей формой исследования является *анализ,* ничего не стоит без его противоположности — *синтеза*» [1].

Действительно, если бы химик довольствовался лишь знанием отдельных химических элементов, полученных в результате анализа, он ничего бы не мог сказать о соединениях, образуемых ими, ибо последние, как известно, не представляют собой механической суммы качеств и свойств составляющих их частей. Так, изучение отдельных свойств серы, кислорода и водорода еще не позволяет сделать выводов о качествах и свойствах образуемых ими сернистого газа, серной кислоты или перекиси водорода и других неорганических и органических химических соединений, в состав которых они входят. Для знания этого не только необходимо соединить исходные элементы определенным образом, в соответствии с известными законами и теориями химии, но и учитывать их взаимовлияние, рассматривать их в данном конкретном единстве. Но это является задачей уже синтеза.

В середине XIX в. на основе огромного, накопленного в аналитический период эмпирического материала в химии развивается синтетический метод исследования. Этому особенно способствовало возникновение теории химического строения. Эксперименты по синтезу веществ, осуществляемые на основе этой теории, подняли химию на новую, высшую ступень. Синтез стал в химии ведущим методом исследования. Достижения его уже в тот пе-

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 542.

риод были весьма впечатляющи. Это и знаменитый синтез Бутлеровым триметилкарбинола, и синтезы углеводородов К. Шорлеммером, и появление универсальных методов цинкорганического синтеза в работах Франкланда, Бутлерова и Зайцева, и открытие каталитических методов синтеза Г. Г. Густавсоном, Ш. Фриделем и Д. Крафтсом. Все это позволило назвать органическую химию такой наукой, которая творит свой собственный предмет.

С помощью синтеза стали подвергаться проверке высказанные ранее предположения. Так, Бутлеров синтезировал на практике предсказанные им изомеры. Целенаправленный синтез, искусственное воспроизведение и получение веществ свидетельствует о мощи человеческого познания. Это показал еще Энгельс на примере получения в лаборатории красящего вещества ализарина из каменноугольной смолы, добываемого ранее из природного растения марены. Об этом же говорят и другие бесчисленные синтезы. Человек действительно познал строение, состав и свойства природных веществ, если он умеет воссоздать их искусственно из других исходных, неорганических материалов. Развитие синтетического метода исследования нанесло удар по агностическим утверждениям о непознаваемости строения молекул, отбросило идеалистическое учение о жизненной силе.

В современной химии особенно многочисленны синтезы органических соединений. Многие из них лежат в основе промышленных способов получения важнейших веществ: красителей, лекарственных препаратов, ряда веществ, необходимых в производстве высокомолекулярных соединений, гербицидов, инсектицидов, синтетического каучука, синтетических смол и т. д.

Развитие и широкое распространение синтеза в химическом исследовании не означает сведения на нет или приуменьшения роли анализа. Об этом свидетельствует дальнейшее возникновение и развитие таких новейших и весьма точных аналитических методов исследования, как спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, ядерный магнитный резонанс, биохимические методы и т. д. Отделять анализ от синтеза можно лишь весьма условно и главным образом в плане их исторического возникновения и развития, как этапы в разработке и создании единого метода исследования, неразрывными сторонами которого они являются.

Научная абстракция

Одной из характерных особенностей современной химии является широкое использование метода научной абстракции. Абстрагирование, как известно, является одним из моментов процесса познания. Оно заключается в мысленном отвлечении от ряда второстепенных, несущественных свойств, связей, сторон исследуемого предмета, явления (или группы однопорядковых предметов, явлений) и в выделении одного общего, наиболее существенного признака, свойства, отношения. Полученное в результате этого процесса отвлеченное понятие и называется абстракцией. Такие, например, важнейшие понятия химии, как элемент, кислота, спирт, гомологический ряд, валентность, изомерия, химическое строение, функциональная группа и т. д. есть абстракции. Научные абстракции с точки зрения Ф. Энгельса — это *«сокращения,* в которых мы охватываем, сообразно их общим свойствам, множество различных чувственно воспринимаемых вещей» [1].

Процесс абстрагирования представляет собой движение мысли в глубь предмета путем его расчленения, выделения основных, существенных моментов. Это есть, по словам К. Маркса, «переработка созерцания и представлений в понятия» [2]. Образование абстракций, таким образом, более высокая ступень в процессе развития познания, чем этап чувственного познания, что и было подчеркнуто В. И. Лениным в его известном определении пути диалектического познания объективной реальности. Теоретическое мышление, дошедшее до создания абстракции, не только само зависит, как указывалось ранее, от уровня развития науки, но является и необходимым условием ее дальнейшего движения.

Действительно, путь познания явлений и процессов лежит через расчленение их на отдельные части, стороны, изучение по отдельности в «чистом» виде, для того чтобы затем полнее понять целое. Например, химик, изучающий явление изомерии, концентрирует внимание на составе и строении веществ изомеров, отвлекаясь от других их физических и химических свойств, агрегатного состояния, цвета, вкуса, запаха и т. д. Выработанное с помощью та-

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 550.
[2] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 12, стр. 727.

кого абстрактного подхода понятие изомерии привело к более глубокому познанию всех свойств и особенностей веществ — изомеров в целом.

Простейшим примером абстрагирования является установление характерной реакции на определенный ион. Так, при изучении характерной реакции на катион Ba^{++} химик обращает особое внимание на то, с каким анионом при столкновении Ba^{++} реагирует, образуя типичный нерастворимый осадок. Химика при этом мало интересует, какое взято исходное соединение, содержащее катион Ba^{++}, лишь бы это был раствор, где барий находится в ионной форме ($BaCl_2$, $BaBr_2$, $Ba(NO_3)_2$ и т. д.). Так же безразлично, какой будет взят раствор второго реагента, содержащий, например, анион SO_4^{--} (Na_2SO_4, H_2SO_4 $(NH_4)_2SO_4$ и т. д.). Не имеет особого значения и концентрация растворов реагентов, их температура и т. д. Все внимание химика акцентируется на результатах столкновения ионов $Ba^{++} + SO_4^{--} = BaSO_4 \downarrow$. К подобного рода абстрагированию, выведению понятия непосредственно из эмпирических наблюдений химик прибегает на каждом шагу в своей повседневной исследовательской деятельности.

Для понятий и теорий современной химии свойствен все более и более абстрактный характер. Это связано с особенностями современного уровня ее развития. Применение новейших приборов, средств и методов исследования других наук, и в первую очередь физики, создало возможность проведения сложнейших экспериментов, проникновения в самые тонкие структуры вещества. Получаемые при этом результаты столь необычны и новы, что, как писал С. И. Вавилов, имея в виду физику, «для наглядной, модельной интерпретации картины не хватает привычных образов и понятий»[1]. Единственный выход из этого положения — использование логики. Только «логика с ее необъятной широтой, воплощенная в математические формы, остается в силе, устанавливая порядок связи в новом, непонятном мире и открывая возможности физических предсказаний»[2]. Несомненно, что все это полностью относится и к химии.

Естественно, что в условиях, когда наглядные образы и представления уже недостаточны для дальнейшего, бо-

[1] С. И. Вавилов. Ленин и физика. М., 1960, стр. 75.
[2] Там же.

лее глубокого проникновения в сущность химических явлений и установления новых закономерностей их развития, «основное внимание исследователей-теоретиков сосредоточено не на абстрактном, полученном непосредственно из эмпирического наблюдения и содержащем в себе наглядные, чувственные элементы..., а на другом, более сложном виде абстрактного, полученного путем глубокого теоретического анализа и лишенного наглядных моментов»[1].

В химии к числу понятий и представлений, полученных путем теоретического анализа и лишенных непосредственной чувственной наглядности, относятся, например, химический элемент, валентность, закономерности зависимости свойств соединений от строения и характера химических связей в веществе и т. д. Типичным примером в этом отношении является образование и развитие методом абстрагирования важнейшего понятия химии — понятия «химический элемент». В химии это предельно широкое понятие, в нем при отвлечении от второстепенных, сугубо индивидуальных черт отражены общие, существенные свойства всех известных элементов, образующих конкретные химические вещества.

Первоначально представление о химическом элементе складывалось на эмпирико-аналитической основе. Исходя из чисто эмпирического обобщения опытного материала, результатов анализа, Лавуазье выделил то общее, что было свойственно, по его мнению, всем известным отдельным элементам. По его определению, пишет Б. М. Кедров, «элемент есть вещество, неразложимое никакими способами»[2]. Налицо чисто описательное, эмпирико-аналитическое определение. «Никаких гипотез ни о строении элементов, ни об их природе вообще Лавуазье не делает»[3]. Это субъективистское определение понятия «химический элемент» обусловлено господством эмпиризма в химии XVIII в., аналитическим этапом ее развития. Неразложимость элемента была абсолютизирована, возведена в

---

[1] Е. М. Бабосов. Взаимосвязь абстрактного и конкретного в развитии современной науки. Сб. «Диалектический материализм как методология естественнонаучного познания». Минск, 1965. стр. 244.

[2] Б. М. Кедров. Эволюция понятия элемент в химии. М., 1956, стр. 21.

[3] Там же, стр. 20.

принцип, что исключало всякую возможность превращаемости элементов друг в друга.

Развитие атомистических воззрений в химии начиная с Бойля, Ломоносова и особенно с момента возникновения химической атомистики Дальтона привело к появлению представления о том или ином химическом элементе как определенном виде атомов. Это было уже теоретическое обобщение, а не узкоэмпирический вывод из данных анализа. До открытия периодического закона понятие «химический элемент» обобщало такие известные в последней трети XIX в. свойства атомов, как вес, валентность, способность выделять и поглощать световые лучи. Атомы каждого вида, т. е. одного и того же элемента, считались абсолютно тождественными, и им были присущи строго определенные свойства. Но и в этом определении химического элемента сохранялось представление о нем как о неразложимом и непревращаемом, в соответствии со взглядом на атомы как физически неделимые, «последние кирпичики» мироздания.

Периодический закон установил новый признак химического элемента, его место в периодической системе, характерное для каждого вида атомов, и раскрыл закономерную связь всех элементов. Установление сложной структуры атома, вызванное открытием в конце XIX в. радиоактивности и электронов, положило начало коренному изменению в содержании понятия «химический элемент». Было отброшено представление о нем как о неразложимом и непревращающемся. Не в свойствах атомов, а в их строении, которое обнаружилось как основа свойств, стали видеть общие признаки, позволяющие относить атомы к тому или иному виду, т. е. к тому или иному элементу.

Место элемента в периодической системе в соответствии с его атомным номером, равное положительному заряду ядра, как было установлено в 1913 г. Мозли в результате изучения рентгеновских спектров элементов, стало определяющей характеристикой элемента. Изучение взаимопревращаемости элементов в процессе радиоактивности, открытие закона сдвига позволили понять существо, характер связи элементов в системе как связи генетической. Место элемента в системе характеризовало, таким образом, каждый элемент как узловую точку, качественный этап в развитии химического вещества.

Открытие изотопии, т. е. обнаружение атомов с различной массой и одинаковым зарядом ядра, опровергло еще существовавшее метафизическое представление о тождественности атомов одного и того же элемента. С этого момента атомный вес стал признаком лишь разновидностей (изотопов) элемента, а основным определяющим признаком химического элемента стал считаться заряд ядра. Именно величина его определяет атомный номер элемента (а значит, и место последнего в системе) и общее число электронов в оболочке, в основном соответственно его химические свойства. Правда, позднейшие исследования показали, что ядро атома элемента характеризуется не только зарядом, равным числу протонов, но в известной степени и общим числом протонов и нейтронов, т. е. массовым числом. Это свидетельствует о том, что вопрос об основном признаке химического элемента будет уточняться и углубляться и в дальнейшем ходе развития физики и химии.

Итак, история развития понятия «химический элемент» показывает, как формировалось это абстрактное понятие, как обогащалось его содержание в ходе практики научного исследования, как в процессе этого возникали другие, менее общие понятия (атомный вес, порядковый номер элемента, изотоп, массовое число и т. д.), т. е. как совершался прогресс научного познания. Все это убедительно подтверждает положение теории познания диалектического материализма о научных абстракциях как ступенях познания, как формах отражения в сознании объективной реальности, раскрывает сам процесс абстрагирования как плодотворный метод получения нового знания, глубокого проникновения в сущность вещей.

Образованные путем абстрагирования понятия получают свою собственную жизнь. Вплетаясь в общую логическую ткань науки, они способствуют выработке новых понятий, установлению новых закономерностей. Какими бы абстрактными и отдаленными от вещей ни казались выработанные в современной науке, в том числе и в химии, научные понятия, они, как это следует, в частности, из примера образования понятия «химический элемент», все же представляют собой не субъективные конструкции, а результаты теоретического обобщения экспериментальных фактов. М. Борн, говоря об образовании в процессе

развития физики подобных все более и более абстрактных понятий, писал: «Вначале формируются образы, на которых сильно сказывается влияние требований наглядности; постепенно представления становятся все более абстрактными; прежние понятия отбрасываются и заменяются новыми. Но как бы ни отдалился сконструированный мир вещей (в данном случае под этим понимается мир понятий. — *Н. Б.*) от наглядности, он все же прочно связан у своих истоков с восприятиями органов чувств, и нет ни одного положения, даже в самой абстрактной теории, которое в конечном счете не выражало бы отношения между данными наблюдений» [1].

В современной химии, как и в науке вообще, ныне все более широко применяется особый вид абстрагирования — идеализация. Мысленно создаются такие объекты и явления (абстрактно-логические модели), которые не существуют и которые невозможно создать в реальной действительности, но которые являются приближенными прообразами моделируемых объектов и явлений действительности. Исследуя эти модели, составляют абстрактные схемы реальных явлений. Посредством этих схем и стараются проникнуть в закономерности развития самих явлений. Примером идеализации в химии является выработка понятия «химическая связь». Как известно, существуют два основных типа химической связи, сравнительно отграниченных друг от друга: ковалентная и ионная. Однако каждая из них в чистом виде встречается крайне редко. Обычно реальная химическая связь носит промежуточный характер между ковалентной и ионной. Кроме того, практически в конкретных соединениях сталкиваются одновременно не с одним, а с несколькими типами связи.

Пользуясь приемом идеализации, полагают, что в данном соединении присутствует связь лишь одного какого-либо типа. Считается, что эта связь образуется за счет дублета электронов, принадлежащих, например, двум атомам, соединяющимся в молекулу. При этом не принимается во внимание имеющее место в действительности более тонкое изменение не только других электронов внешнего слоя, но и предпоследнего электронного слоя. Сами электроны, составляющие дублет, подчас

---

[1] М. Борн. Физика в жизни моего поколения. М., 1963, стр. 57.

принимаются за корпускулы, локализованные в межъядерном пространстве, что не соответствует, как известно, данным современной физики. Подобная идеализация при выработке понятия «химическая связь», выражающаяся в ряде допущенных упрощений, при условии, что это понятие не абсолютизируется, является полезным приемом в исследовательской деятельности химика.

Процесс идеализации, как видно из приведенного примера, связан с существенным упрощением изучаемого явления. «В процессе создания идеализированных предметов мы отвлекаемся от их несущественных сторон и связей, очищаем материальный прообраз от случайного, второстепенного, нетипичного, стратифицируем его, приравниваем к некоторому предельному образцу, неосуществимому в самой материальной действительности»[1].

Растущая абстрактность понятий и теорий современной химии не способствует отрыву ее от реальной действительности. Наоборот, используя категории научного мышления, ученые-химики могут более глубоко и конкретно исследовать химические вещества и явления, овладевать новыми процессами. Доказательством этому являются грандиозные успехи современной химии, опирающейся в своих исследованиях на теории и представления, созданные с помощью научных абстракций.

Моделирование

В тесной связи с методом абстрагирования находится широко используемое в современной науке, в том числе и в химии, моделирование. Этот метод исследования, как известно, основан на возможности воспроизводить тела или явления, подобные существующим в действительности в том или ином отношении (например, геометрически или по количественным характеристикам). Под моделью понимается, как определяет В. А. Штофф, «такая мысленно представляемая или материально реализованная система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте»[2]. Иначе говоря, путем исследования модели представляется возможность судить о явлениях, происходящих в «оригинале».

---

[1] Д. П. Горский. Проблемы общей методологии наук и диалектической логики. М., 1966, стр. 38.

[2] В. А. Штофф. Моделирование и философия. М., 1966. стр. 19.

Моделирование представляет собой особый вид эксперимента, часто воображаемого, когда оно выступает не только в качестве средства, но и объекта опытного исследования. Исключительно важна роль моделирования в познании явлений, где прямое экспериментальное исследование весьма затруднено или даже исключено совсем. Это, например, имеет место при огромных или бесконечно малых размерах тел, явлений, при чрезвычайно замедленных или крайне больших скоростях течения процессов, наконец, при очень высоких или низких значениях режимных параметров (температуры, давления, концентрации).

Предметом моделирования могут быть как любые реально существующие конкретные тела и явления (химические соединения, химические связи, реакции, технологические процессы), так и системы, еще подлежащие конструированию (реакторы, контактные аппараты). Как особый вид эксперимента моделирование является важным моментом при выдвижении гипотез и их проверке. Именно на моделях, в частности при моделировании на электронно-цифровых машинах, оказывается возможным представлять процессы и связи, лежащие, согласно выдвинутой гипотезе, в основе наблюдаемых явлений. Моделирование выступает и как особая форма наглядности. В нем отражается в характерной для современной науки специфической форме связь теоретического момента знания с чувственным, опытно-практическим.

В химии давно используется метод моделирования. Сама химическая символика, первые формулы соединений (Берцелиуса) практически представляли собой знаковые модели, отражающие состав соединения, стехиометрические отношения между элементами. Появление теории химического строения обусловило возможность создания модели молекулы в виде структурной формулы, выражающей уже и порядок связей атомов. Эти знаковые модели химического строения молекулы позволяют наглядно представлять ее структуру, объяснять некоторые явления (например, изомерии) с точки зрения бутлеровской теории, опирающейся на принцип валентности, насыщаемости и взаимного влияния атомов. Модели химического строения давали возможность предсказывать, строить другие модели в виде структурных формул предполагаемых изомеров (предсказание Бутлеровым триметилкар-

бинола). Таким образом, модели в виде структурных формул уже служили средством познания.

Дополнение бутлеровской теории стереохимическими представлениями привело к созданию более глубоких и содержательных моделей молекул. В них уже пытались воспроизвести ориентацию валентностей в пространстве, пространственно-геометрические отношения атомов в молекуле. К числу таких моделей относятся, например, модель тетраэдра для молекулы метана или двух тетраэдров для лево- и правовращающей винной кислоты (модели Кекуле — Вант-Гоффа). Молекулярные модели (например, Дрейдинга, Саксе и Мора) верно отражали межатомные расстояния и валентные углы в молекулах, позволяли оценивать энергетическую выгодность различных конформаций, измерять расстояние между непосредственно не связанными атомами и т. д. Так называемые объемные модели (Стюарта—Бриглеба и других) правильно передавали формы и размеры молекул, валентные углы, межатомные расстояния. Все эти модели молекул, получивших новые черты наглядности (образ в пространстве) по сравнению со знаковой структурной формулой, играют и в настоящее время в химии известную познавательную роль. Ими пользуются при изучении пространственной (в частности, оптической) изомерии, установлении и оценке стерических препятствий, в конформационном анализе.

Широко применяется моделирование в исследовании химической связи. Развитие электронных представлений еще до возникновения квантовой механики раскрыло химическую связь, валентный штрих как сложное образование, состоящее из электронной пары. Структурные фомулы (модель Льюиса), где валентные электроны изображались точками, уже позволяли объяснять некоторые новые черты химической связи. Это способствовало уяснению различия между ионной и ковалентной связями, характера комплексной, координационной и водородной связей, условий поляризуемости молекул. На этой основе удалось более глубоко выяснить взаимозависимость между химическим строением и свойствами веществ, в частности таким важнейшим для химии свойством, как реакционная способность.

Однако эти модели химической связи были очень далеки от совершенства, они были упрощенными и меха-

нистичными. В них электрон принимался за корпускулу, локализованную в пространстве между ядрами. Это, как показала квантовая механика, не соответствовало действительности. Исследование химической связи с позиций

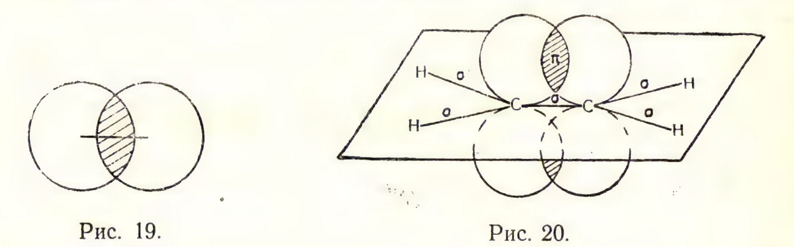


Рис. 19. Рис. 20.

квантовой механики, исходя из двойственной, корпускулярно-волновой природы электронов, принципа неопределенности Гейзенберга, зависимости формы электронного облака от значений квантовых чисел и понятия спина, привело теорию химического строения к дальнейшему развитию и установлению ряда важнейших принципиально новых положений. Было раскрыто существо ковалентной, истинно-химической связи, установлены такие ее специфические особенности, как насыщаемость и направленность. Это позволило по-новому понять пространственные структуры молекул химических соединений.

Моделирование химической связи заключается, например, в наглядном пространственном представлении того или иного рода связи в виде перекрывания соответственно направленных облаков, образующих связь электронов, и изображения возникающей при этом формы общего электронного облака молекулы. Так, простая ковалентная связь между двумя атомами водорода изображается как следствие перекрывания двух электронных облаков с антипараллельными спинами, так что в их перекрывании по прямой, соединяющей ядра атомов, «электронная плотность» максимальна (см. рис. 19), или например, модель двойной связи в молекуле этилена (sp^2-гибридизация) [см. рис. 20 и 21], или модель тройной связи в молекуле ацетилена (sp-гибридизация) [см. рис. 22 и 23].

Использование различного рода моделей в химии позволяет представлять в наглядной форме (конечно, весьма приближенно) химическое строение, различные типы

и виды связей, что дает возможность объяснять и строить предположения (гипотезы) о химическом поведении вещества, протекании реакции присоединения, замещения и т. д. Таким образом, модели в химии являются средством развития знания, источником построения новых гипотез, формой их проверки (как особый вид эксперимента), т. е. важнейшим и необходимым элементом создания научной теории.

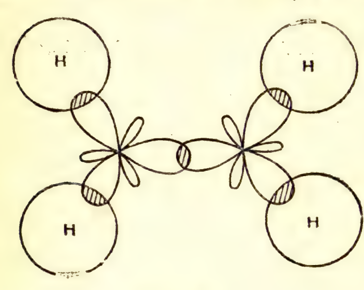


Рис. 21.

Для современной науки, в том числе и химии, характерны весьма разнообразные формы моделирования. Кроме моделей знаковых и моделей в виде наглядного образа строят модели, основанные на физическом подобии, общности физических процессов, лежащих в основе как модели, так и моделируемого явления. Создаются также модели, основанные на идентичности математического описания происходящих процессов в оригинале и в модели. Например, моделирование течения тепла или жидкости при помощи электрического тока.

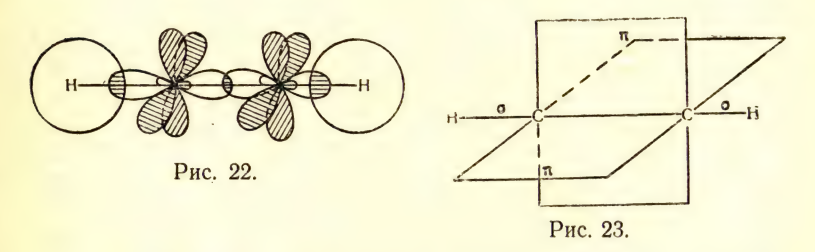


Рис. 22.

Рис. 23.

За последнее время в связи с развитием вычислительной техники при описании различных процессов все шире прибегают к моделированию, основанному на сходстве функциональных связей моделей и моделируемого явления. Подобное моделирование находит все большее и большее применение в химии и химической технологии. Известно, что внедрение в производство нового химического процесса весьма сложное дело. От осуществления его

в колбе до промышленной установки лежит весьма трудоемкий и длительный путь: лаборатория, затем опытная, укрупненная установка, далее заводская и, наконец, промышленная. Постепенно нарастают масштабы, габариты аппаратуры, отрабатывается технология. От пяти до десяти — пятнадцати лет длится этот процесс. Но темпы технического прогресса стремительны. Через 10—15 лет может исчезнуть нужда в данном химическом продукте или будет разработана новая, более совершенная технология.

Каким же образом быстро решить вопрос о наилучшем варианте из всех возможных конструкций химического реактора? Как найти наиболее выгодный технологический режим (температуру, давление, концентрацию, вид и количество катализатора) для созданной конструкции реактора и обеспечить оптимальный выход продукции? Решение проблемы во многом облегчает математическое моделирование. Впервые задачи по математическому моделированию химических процессов были сформулированы и решены еще в 1958 г. Г. К. Боресковым — директором Института катализа Сибирского отделения АН СССР. Возможность теоретически рассчитывать промышленные реакторы исходя только из лабораторных опытов не имела прецедента в мировой конструкторской практике, в химической технологии. Вначале ввиду сложности математического аппарата казалось, что работы Г. К. Борескова имеют чисто теоретический интерес. Однако уже в ближайшее время обнаружилась их большая практическая значимость, и они получили высокую оценку. «Следует отметить, — заявил в 1964 г. в речи на годичном собрании президент АН СССР М. В. Келдыш, — работы Института катализа Сибирского отделения нашей академии по методам математического моделирования химических процессов, в частности процессов катализа, с помощью электронных цифровых и аналоговых вычислительных машин. Эти методы были применены к важнейшим промышленным каталитическим процессам — окислению двуокиси серы в серный ангидрид для производства серной кислоты, получению мономеров для производства синтетического каучука, пластмасс — и к некоторым другим процессам» [1].

---

[1] «Вестник Академии наук СССР», 1964, № 3, стр. 9.

Основой математического моделирования в химии является, во-первых, возможность изучения химизма, кинетики реакции, ее промежуточных стадий, побочных продуктов и скоростей превращения веществ в лабораторных условиях; во-вторых, использование для большинства важных физических процессов уже выясненных физиками и сопровождающих химическую реакцию (перенос тепла вместе с веществом, передача его стенкам сосуда и катализатору, гидродинамические характеристики реакционного потока и т. д.) готовых уравнений. Затем «на основе математических выражений химических и физических законов составляется математическое описание технологического процесса, которое объединяет взаимодействие химических и физических стадий в единый процесс. Анализ математических уравнений и их решение позволяют расчетным путем предсказать результаты протекания процесса в установках любого масштаба»[1].

Практически путь математическому моделированию был открыт с появлением электронно-счетных устройств. В настоящее время на подобных машинах рассчитаны и рассчитываются оптимальные конструкции химических реакторов и оптимальный режим работы многих технологических процессов: производства серной кислоты, аммиака, получения дивинила из бутилена, прямого синтеза высших спиртов из окиси углерода и водорода и т. д. При этом выход продукции в ряде случаев увеличивается чуть ли не вдвое.

Математическое моделирование химических процессов на электронных машинах позволяет сократить в несколько раз путь от лаборатории к заводу. Это имеет огромное значение для ускоренного развития химической промышленности и связанных с ней отраслей народного хозяйства. Этим открывается также путь к автоматическому контролю и регулированию технологического процесса. Машина сама на основании информации многочисленных датчиков анализирует обстановку и автоматически соответственно изменяет нужные параметры.

Автоматический контроль и мгновенное регулирование быстродействующими электронно-вычислительными устройствами обеспечивают большие скорости химических

---

[1] Г. Боресков и М. Слинько. Ускоритель — математика. «Известия», 1963, 10 октября.

процессов, максимально возможный выход продукции, наиболее рациональное использование оборудования. Математика и кибернетика раскрывают перед химией невиданные перспективы [1].

Возрастание гносеологической роли модели, развитие приемов и методов моделирования, расширение диапазона его применения, углубление и увеличение содержательности современных моделей весьма показательны. Происходит переход к использованию и усовершенствованию функциональных и других более сложного типа моделей (абстрактно-логических). Это объясняется тем, что само современное научное знание становится все опосредованнее, абстрактнее. Оно все дальше отходит от сложившихся привычных представлений, форм и приемов познания, связанных с непосредственной наглядностью.

Это обусловлено проникновением в глубины материи, в ее связи и процессы, не поддающиеся исследованию с помощью установившихся методов познания. Однако растущая опосредованность, абстрактность научного знания не отделяет его от материального мира, а, наоборот, позволяет все глубже и глубже проникать в него, обеспечивает все большую и большую объективность и конкретность познания. Последнее идет, как указывал В. И. Ленин, по парадоксальному принципу: «... отойти, чтобы вернее попасть, — reculer pour mieux sauter (savoir?) » (отступить, чтобы лучше прыгнуть (познать?). — *Ред*) [2].

Моделирование вообще, и в химии в частности, тесно связано с процессом построения и проверки гипотез, с абстрагированием и идеализацией. С помощью последних приемов выделяются определенные стороны, свойства, связи, элементы строения химических веществ и явлений, которые и отображаются на модели. Естественно поэтому, что модель лишь приближенно отражает действительность. Степень этой приближенности зависит как от вида моделирования, так и от глубины и научной обоснованности используемых при этом химических теорий и технических средств. Переход в химии от моделей знаковых (структурные формулы) к моделям объемным, отража-

---

[1] См.: В. В. Кафаров. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М., 1968.

[2] В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 252.

ющим объект в виде наглядного образа в пространстве, затем к моделям, основанным на общности физических процессов, на идентичности математического описания в оригинале и модели, позволяет все более глубоко и полно проникать в сущность химических процессов и явлений. В этом выражается огромное гносеологическое значение моделирования в химии.

Широкие возможности моделирования различных тел и явлений имеют своей основой материальное единство мира, взаимосвязь всех его разнокачественных и разномасштабных частей, однородность пространственной структуры как макро-, так и микроявлений, наличие аналогичных сторон (например, количественных), подчиняющихся единым, общим закономерностям. Поэтому моделирование, особенно математическое, с использованием электронно-счетных машин прочно входит в число познавательных средств и существенно ускоряет развитие современной науки.

Об эксперименте в химии

Наука в целом, естественные науки в частности, возникла на основе и из потребностей практики как активной, материально чувственной деятельности людей, направленной на освоение и преобразование природы. Поэтому практика — это прежде всего объективный процесс производства, представляющий основу жизни общества.

Вся предыстория химии свидетельствует о ее прикладном характере. Еще в древности металлы, керамические изделия, некоторые красящие вещества получали химическими способами. Ремесленная химия и ятрохимия были двумя наиболее перспективными, жизненными направлениями в алхимическом периоде XVI—XVII вв., приведшими непосредственно к зарождению химии как науки. Рождение опытных наук новейшего времени в XIV—XV вв. связано с возникновением капиталистического производства. «Вся гидростатика (Торичелли и т. д.) вызвана была к жизни потребностью регулировать горные потоки в Италии в XVI и XVII веках, — указывал Энгельс. — Об электричестве мы узнали кое-что разумное только с тех пор, как была открыта его техническая применимость»[1].

Развитие физики и химии особенно стимулировали запросы техники, производства после промышленного пере-

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Избранные письма. Огиз, 1948, стр. 469—470.

ворота конца XVIII — первой половины XIX в. Так, рост каменноугольной и металлургической промышленности привел к изобретению паровой машины, изучение процессов, совершающихся в последней, — к возникновению термодинамики. Создание кислородной теории горения, разработка точных количественных расчетов в химии, поставивших ее на научную основу, есть результат бурного развития металлургии. Потребности красильного производства, фармакохимии дали мощный толчок органической химии.

Одной из форм практики и вместе с тем методом познания является научный эксперимент. Наряду с экспериментом важное значение имеет и такой прием, как наблюдение. Последнее основано на живом созерцании, непосредственном ощущении. Решающую роль при этом играют органы чувств. Такие из них, как обоняние и вкус, даже называются «химическими чувствами», ибо с помощью их осуществляется прямое соприкосновение с веществом. Через непосредственное наблюдение устанавливаются свойства веществ. При химических реакциях наблюдатель лишь отмечает изменение свойств (агрегатного состояния, окраски, запаха, вкуса) и качеств. Наблюдением за показаниями различных приборов устанавливаются также доступные численному выражению количественные характеристики вещества, например, такие его свойства, как удельный вес, температуры кипения, плавления или скорость, тепловой эффект химических реакций и т. д.

Ограниченность простого наблюдения заключается в его пассивности, когда схватываются лишь внешние, поверхностные стороны, доступные непосредственному восприятию. С помощью одного наблюдения в химии невозможно проникнуть, например, в сущность веществ и процессов их превращения, установить внутренние структуры и связи веществ, движущие силы, причины и закономерности химических явлений. Наблюдение — это простейший метод познания. Он был основным на более раннем этапе развития практики и химических знаний.

Развитие производства, усложнение в связи с этим задач научного исследования, необходимость целеустремленно проводить различные, в том числе и химические, процессы вызвали к жизни более эффективный метод познания — эксперимент как научно поставленный опыт

с заранее намеченной целью. Эксперимент в химии — это проведение реакции в строго определенных условиях (среды, концентрации реагирующих веществ, давления, температуры, различных катализаторов, скорости реакции и т. д.). Это позволяет изучать ход процесса (при повторении одних и тех же условий), заранее предвидеть его результаты, влияние на них изменения того или иного фактора. В эксперименте как искусственно воспроизведенном явлении воедино соединяются наблюдение, абстрактное мышление и практика.

Неоценимое преимущество эксперимента в том, что изучаемый химический процесс (например, получение серной кислоты) можно воспроизводить сколь угодно много раз, расчленять его на отдельные фазы, убыстрять, замедлять, даже приостанавливать с целью более углубленного, изолированного изучения тех или иных сторон, этапов при самых разнообразных условиях.

Огромное значение эксперимента как основы химического исследования ярко выступает при рассмотрении истории изучения класса ароматических соединений и, в частности, установлении строения бензольного ядра, являющегося их непременным структурным элементом. На основе теории химического строения первоначально посредством эксперимента было установлено строение алифатических (жирных) соединений. Позднее путем анализа стали выяснять строение большой группы веществ, которые, как оказалось, в отличие от алифатических, во-первых, содержат меньший процент водорода, во-вторых, хотя у них и наблюдается существование функциональных групп и гомологов, как и у алифатических соединений, в отличие от последних формулы их вывести простым образом из метана не представляется возможным, и, наконец, в-третьих, в результате реакций расщепления изучаемых веществ никогда не получали молекул, содержащих менее шести атомов углерода. Полученные экспериментальные данные послужили основой для вывода о том, что все эти вещества, названные ароматическими в силу их специфического запаха, содержат так называемое ароматическое ядро. В 1825 г. М. Фарадей в жидком конденсате светильного газа открыл простейшее ароматическое соединение с молекулярной формулой C_6H_6. Позднее Э. Митчерлих получил это вещество, названное бензолом, при сухой перегонке бензойной кис-

лоты, а Г. Лей и А. В. Гофман обнаружили его в каменноугольной смоле.

Решение проблемы строения бензола, родоначальника ароматических соединений, являющейся одной из центральных в органической химии, производилось на основе всестороннего использования самых разнообразных экспериментальных методов в химии, физических методов и позднее методов расчета квантовой механики. Прежде всего на основании опытного исследования соответствующих продуктов замещения бензола А. Ладенбург, Г. Гюбнер и Петерман доказали, что все шесть атомов водорода в бензоле равноценны. Затем экспериментально установили, что однозамещенные производные бензола, например бромбензол, не имеют изомеров. Это возможно только при замкнутой цепи углеродных атомов бензола. В противном случае должно было бы существовать по крайней мере три изомера. Следовательно, бензол имеет особое, отличное от алифатических соединений, строение.

Немецкий химик А. Кекуле, опираясь на эти данные, создал теорию строения бензола, выдвинув следующие положения: бензол имеет циклическое строение (шестичленный цикл); цикл бензола обладает большой прочностью; в цикле бензола имеются три двойных связи, чередующиеся с простыми; все шесть атомов водорода в цикле бензола равноценны. Формула бензола (по Кекуле) имеет вид

```
      CH
  HC//  \CH
    |    ||
  HC\\  /CH
      CH
```

Современные физико-химические методы исследования (рентгеноструктурный анализ и др.) подтвердили правильность первого положения Кекуле о циклическом строении бензола. Характер кристаллической решетки графита и алмаза показывает, что в ряде случаев углеродным атомам присуща способность соединяться друг с другом в шестичленные циклы. Экспериментальные данные также подтвердили, что шестичленный углеродный цикл прочен и нелегко разрывается и что в нем все атомы водорода равноценны. Третье же положение Кекуле о

наличии и характере трех двойных связей у бензола не получило надлежащего опытного подтверждения.

Действительно, положение о наличии трех двойных связей у бензола приходит в несоответствие с проявляемым в химических реакциях насыщенным характером этого соединения. Соединения с таким строением, как предложено Кекуле, должно было бы быть ненасыщенным и легко полимеризоваться, бензол же не полимеризуется и не вступает в типичные реакции непредельных углеводородов. Согласно формуле Кекуле молекула бензола должна была бы иметь форму неправильного шестиугольника, так как длина ординарной связи С—С обычно равна 1,54 Å, а длина двойной связи С=С составляет лишь 1,32 Å. На самом деле измерениями установлено, что все шесть углерод-углеродных связей имеют одинаковую длину 1,40 Å, т. е. молекула бензола должна иметь правильную форму. По имеющимся в настоящее время данным, строение бензола схематично можно себе представить так: «Все шесть углеродных (и шесть водородных) атомов находятся в одной плоскости (факт экспериментальный), а облака π-электронов углеродных атомов перпендикулярны плоскости молекулы (и, следовательно, параллельны друг другу)» [1].

Таким образом, эксперименты показали, что формула Кекуле не совершенна. Она лишь приблизительно отражает свойства бензола. Но из всех других предложенных формул, многие из которых имели поперечные связи или связи, направленные от граничных атомов углерода к центру (диагональная формула А. Клауса, призматическая Ладенбурга, хиноидная Дж. Дьюара, формула И. Тиле и т. д.), формула Кекуле оказалась самой близкой к действительности и пользование ею при исследованиях и практических синтезах ароматических соединений, имеющих важнейшее значение, способствовало быстрому развитию химической промышленности.

Таким образом, теория и практика, такие методы познания, как гипотеза и научная абстракция, индукция и дедукция, такие приемы логического и практического исследования, как анализ и синтез, моделирование, находят свое единство и взаимосвязь в эксперименте. Но

---

[1] А. Е. Чичибабин. Основные начала органической химии, т. I, стр. 121—122.

эксперимент, как мы видели, выступает не только в качестве основы обобщения и выдвижения новых идей, не только как необходимый этап в дальнейшем развитии научного исследования, но и как объективный критерий истины. В истории развития философской мысли существовали различные взгляды на критерий истины. Его видели и в общезначимости понятий, и в коллективном опыте, и в приносимой «пользе» и т. д. Но познание не может быть критерием истинности самого себя. Маркс в своих знаменитых «Тезисах о Фейербахе» указал на объективный критерий истинности, лежащий вне самой теории. «В практике должен доказать человек истинность, т. е. действительность и мощь, посюсторонность своего мышления»[1].

Роль эксперимента как критерия истины не случайно особенно наглядно выступает в химии. Наука эта, более чем какая-либо другая, основана на опыте. Недаром говорят, что химия в известном смысле есть концентрированная практика научного исследования и производства. Но следует иметь в виду, что критерий практики, а значит, и научного эксперимента как особой формы ее, одновременно и абсолютен, и относителен. Абсолютен — ибо все, что доказано практикой, является объективной истиной. Относителен — потому что сам эксперимент определяется уровнем развития научных знаний и материального производства, т. е. носит исторический характер. Поэтому результаты эксперимента в связи с развитием его все более и более уточняются, углубляются, приближаясь к объективной истине. Так, методы определения строения молекул органических соединений во времена Бутлерова заключались в проведении характерных, типических реакций и простейшего исследования физических свойств вещества, которые, как известно, находятся в тесной зависимости от строения их молекул. В последние десятилетия в связи с высоким развитием производства вообще, а значит, и техники физического эксперимента, исследование строения осуществляется через определение дипольных моментов, с помощью рентгенографического, электронографического и спектроскопического способов. Это позволило значительно углубить представления о структуре органических молекул и, следовательно, обогатить теорию химического строения.

---

[1] К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 3, стр. 1.

Итак, с помощью экспериментов химия не только проникает в сущность веществ, в процессы их превращений, объясняет их, но также и непосредственно овладевает веществом, химическими реакциями, что дает возможность управлять ими. Эксперимент — одно из главных средств связи химии с производством, способ исследования, усовершенствования и открытия новых химико-технологических процессов. Эксперимент позволяет осуществить проверку правильности научных выводов, гипотез, открывать новые закономерности.

Движущей силой развития науки, химических знаний является постоянное возникновение и разрешение противоречия между непрерывным развитием материального производства и данным уровнем знаний; противоречия между новыми химическими фактами, получаемыми в процессе развития практики, экспериментального исследования, и прежними способами их объяснения. Необходимость истолковывать эти факты, не укладывающиеся в рамки существующих понятий, гипотез и теорий, ведет к углублению последних, к уточнению пределов их действия, к отбрасыванию устаревших положений. Возникают новые, более общие и прогрессивные понятия, гипотезы, теории. На их основе переосмысливается весь накопленный ранее научный материал, совершенствуется теоретическая сторона науки, развивается сам эксперимент, появляются новые факты.

На определенном уровне развития новые факты, данные эксперимента, количественно накапливаемые под стимулирующим воздействием новых материальных потребностей общества, опять вступают в противоречие с существующими теориями. Так в результате борьбы этих двух противоположных тенденций (устойчивости и изменчивости), возникновения и разрешения противоречия между ними совершается очередной качественный скачок в развитии науки, подъем ее на более высокую ступень.

Химия и общественное производство

Революция в естествознании в начале XX в. отбросила остатки механицизма и метафизики, идею о существовании последних, неизменных «кирпичиков» мироздания. Сложившаяся новая физическая картина природы была диалектической. Опираясь на новейший экспериментальный материал, современные

теории и методы исследования, естествознание в изучении материи сделало очередной шаг вперед от сущности одного порядка к сущности другого, более высокого порядка. От выяснения «внешних» свойств веществ, их состава и закономерностей взаимодействия химия перешла к изучению недр, структуры молекул, характера связи и взаимовлияния составляющих их атомов и атомных групп, от чего, как мы теперь знаем, зависят все свойства и особенности химических соединений.

Качественное изменение характера самой науки, неизмеримо возросшие возможности и эффективность результатов исследования существенно сказались и на ее взаимоотношении с производством. Наука ныне не просто следует за потребностями производства, обслуживает его, как это было прежде. Проникая в глубокие тайны материи и постигая самые коренные закономерности ее, наука создает основы и самую возможность появления новых отраслей и процессов производства. Это и является фундаментом новых взаимосвязей науки и производства, нового соотношения между ними, а следовательно, составляет суть общественной функции науки, как отмечали в своих выступлениях на декабрьском (1964 г.) Пленуме ЦК КПСС академики М. В. Келдыш и Н. Н. Семенов.

Выдающиеся достижения физики твердого тела привели к коренным изменениям в области электротехники, электроники, радиотехники, играющих ведущую роль в развитии современной техники, в частности автоматики, телемеханики и телеуправления. Открылись богатейшие возможности для автоматизации, новой, более совершенной организации производства и самих научных исследований.

Бурно развивающаяся за последние годы химия полимеров создает новые синтетические материалы, неизвестные в свободном состоянии, обладающие замечательными свойствами. Применение этих материалов приводит к радикальной перестройке буквально во всех ведущих областях современной промышленности. Уже возникло производство новых строительных материалов. Открылись новые перспективы для развития сельского хозяйства, для создания неограниченного ассортимента предметов широкого потребления. Новейшая физика, изучая атомное ядро, открыла цепную реакцию деления и термоядерный процесс, который нигде на земле не совершается естест-

венным путем. Это вызвало к жизни мощную ядерную энергетику, химию изотопов как новейшую отрасль промышленности, принципиально иные методы контроля и исследования химических веществ и процессов.

Научные исследования в XX в. достигли небывалого темпа и размаха. Теперь не только непосредственные потребности уже существующего производства, но и сама внутренняя логика развития науки зачастую приводят к таким открытиям новых свойств и закономерностей материи, использование которых обусловливает возникновение неизвестных ранее отраслей. Наука в наше время органически сливается с производством. Она все больше становится непосредственной производительной силой, а производство — технологическим приложением современной науки. Это означает следующее: если вплоть до XX в. наука лишь открывала законы природы, устанавливала способы и методы практического их использования, то ныне она непосредственно участвует в организации и проведении технологических процессов. Автоматизация производства, выбор наиболее оптимальных вариантов технологических процессов с помощью счетно-решающих устройств, использование атомной энергии, прямое преобразование химической, тепловой и световой энергии в электрическую, эффективная организация, планирование, учет и контроль производства сейчас возможны лишь при непосредственном участии науки в производстве.

Конечно, наука в техническом прогрессе — это не единственно определяющая и решающая сила. Наука и техника находятся в единой системе общественно-экономических отношений. Между ними существует тесная диалектическая связь. На ноябрьском (1962 г.) Пленуме ЦК КПСС специально подчеркивалось, что наука не может успешно развиваться, не опираясь на производство, а производство — не опираясь на науку. Они обусловливают и дополняют друг друга.

Сама наука, образно говоря, индустриализируется, иным становится характер научных исследований, физические и химические методы и средства познания тел и явлений, лежащих в глубинах природы. Электронный микроскоп, позволяющий видеть отдельные молекулы, специальные кибернетические устройства — «электронный мозг», тончайшие рентгеноскопические приборы, сложные, огромной энергоемкости установки по расщеп-

лению атомных ядер, осуществлению термоядерных процессов, — все это стало необходимым элементом рабочих будней ученого. Создание таких средств научного исследования под силу лишь производству, основанному на новейшей, высшей технике. Сам уровень науки, методы ее исследования, достигнутые результаты находятся, следовательно, в непосредственной зависимости от степени развития производства.

Только на основе науки возможно современное химическое производство, и наоборот, лишь на базе высокоразвитого производства происходит дальнейшее стремительное развитие химии. Научное исследование, эксперименты начинают осуществляться в ходе химического производства. Они становятся необходимыми не только для развития теории и методов химии, но и самого этого производства. Единый, неразрывный комплекс постепенно образуют химический институт, лаборатория и завод. Ученые, руководители, инженеры, занятые в сфере научного исследования, управления, планирования и организации химического производства, в этих условиях становятся непосредственными производителями материальных благ. Так на единой высокоразвитой материально-технической базе идет процесс превращения науки в производительную силу, а производства — в технологическое применение наук и объединяются воедино научная и производственная деятельность.

На качественно новый этап своего развития поднялась ныне химическая наука и химическое производство. В наши дни блестяще оправдались вещие слова М. В. Ломоносова, сказанные им свыше 200 лет назад: «Широко распростирает химия руки свои в дела человеческие». Невозможно указать отрасль народного хозяйства или науки, так или иначе не связанную с нею. Химия создала материалы, которых нет в природе, но без которых невозможны были бы космические полеты и новейшее производство. Это полученные в лабораториях путем перестройки молекулярных структур в соответствии с найденными закономерностями, «сшиванием» одинаковых и разных мономеров (часто органических: фосфор-, кремнийорганических и др.) пластмассы, химические волокна, иониты и т. п.

В практике уже известны и широко применяются, например, тефлон, по своей кислотоупорности превосходя-

щий Au и Pt; плексиглаз — небьющееся стекло, прозрачная броня, прочный теплоизолятор; пенопласт, который в сто раз легче пробки; синтетические волокна нейлон и лавсан; искусственные меха и кожи; пенициллин и стрептомицин, излечивающий газовую гангрену и некоторые виды туберкулеза; вещества, уничтожающие вредителей растений (инсектициды), замедляющие их рост (гербициды) и, наоборот, стимулирующие его. «Химические» фильтры — иониты, очищающие жидкость от растворенных в ней до ионов веществ (опреснение морской воды). Избирательные иониты выбирают из воды, например, драгоценные металлы (Au), из других веществ, растений — соки: хинин, стрихнин, никотин, различные витамины и т. д. Краски и лаки, жаростойкие и не боящиеся низких температур вещества; прекрасные диэлектрики, дешевые и прочные строительные материалы, устойчивые к агрессивным средам; моющие средства, разнообразные пленки и смазки — все это и многое другое дает современная химия.

Химия получила синтетическим путем такой необходимый для народного хозяйства продукт, как каучук, причем не из спирта, на добычу которого шло пищевое сырье (картофель, зерно), а из природных газов, газов нефтепереработки и т. д. Сейчас синтезируют самые разнообразные каучуки: бутадиеновые, изопреновые, кремнийорганические и т. д. Оправдались слова советского ученого С. В. Лебедева, впервые разработавшего в 1928 г. способ промышленного получения синтетического каучука: «Синтез каучуков — источник бесконечного разнообразия. Теория не кладет границ этому многообразию. А так как каждый новый каучук является носителем своей оригинальной шкалы свойств, то резиновая промышленность... получит недостающую ей сейчас широкую свободу в выборе нужных свойств...».

Век полимеров по существу еще только начался. Это материалы будущего. Но это будущее при таком стремительном развитии науки и производства не за горами. Недалеко то время, когда пластмассы, химические волокна займут господствующее положение в технике и в быту. Появятся синтетические материалы, которые позволят полностью и всюду заменить цветные металлы и их сплавы, электроизоляционные, многие архитектурные и строительные материалы, шерсть, кожу, шелк и пр. Более того,

химия уже решает и безусловно в ближайшем будущем успешно решит такой важнейший вопрос, как искусственное получение высококачественных пищевых продуктов.

Неисчерпаемы возможности науки чудесных превращений. Именно уверенность в этом позволила одному из известных советских химиков академику А. Н. Несмеянову высказать мысль, что люди в XXI в. будут одеты только в искусственные ткани, будут иметь обувь, изготовленную из искусственной кожи, и шубы из синтетического меха, будут окружены предметами, сделанными из искусственных материалов. В овладении секретами хлорофиллового зерна, внутриклеточных превращений веществ в живом организме, может быть, таится технология будущих заводов искусственных пищевых продуктов, которые будут далеко превосходить по качеству, целесообразности состава и усвояемости сегодняшние естественные продукты.

Особенностью современной химии является не только ее тесная связь с другими науками, воздействие на их развитие. Неизмеримо возросла роль химии в народном хозяйстве. Она стала одной из самых революционных отраслей науки, так или иначе воздействующих на развитие всей экономики. Химия всегда была наукой опытной, экспериментальной, всегда имела своей ближайшей целью непосредственное удовлетворение практических нужд человека. Поэтому в химии, как ни в какой другой науке, научные исследования должны быть тесно связаны с производством. Такое единство науки и производства, теории и практики не только обеспечит дальнейший небывалый расцвет и развитие самой химической науки, будет способствовать созданию мощной химической индустрии, но и явится основой нового, качественного скачка в развитии производительных сил, в создании материально-технической базы коммунизма.

Декабрьский (1963 г.) Пленум ЦК КПСС, рассмотревший вопрос об ускоренном развитии химической промышленности как важнейшем условии подъема сельскохозяйственного производства и роста благосостояния народа, особенно ярко раскрыл новое, социальное значение науки в процессе строительства коммунизма. Химия в значительной степени поможет решить самые насущные задачи коммунистического строительства: повысить производительность труда, добиться быстрого роста

общественного богатства, создать изобилие продуктов питания и товаров широкого потребления. Наступает время, которое предвидел и о котором мечтал, стремясь его приблизить трудами своими великий русский химик, первооткрыватель периодического закона Д. И. Менделеев. Как и отец русской науки Ломоносов, он, глубоко веря в неисчерпаемые возможности и мощь химии, призывал не жалеть усилий для ее развития, ибо «посев научный взойдет для жатвы народной».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Химия, которая является одной из важнейших наук о природе и которая лежит в основе современного производства, так же, как и любая другая отрасль естествознания, располагает своими конкретными методами исследования химических веществ и процессов их превращения. Но знания и использования только методов химии для успешного развития этой науки недостаточно. Существует, как известно, общий метод подхода к изучению явлений материального мира — диалектический метод. Онто и помогает наиболее эффективно пользоваться конкретными методами частных наук, ибо общий правильный подход к окружающему миру позволяет подойти к решению поставленной конкретной задачи наиболее коротким путем и быстрее добиться успешных результатов.

Знание диалектического метода, умение им пользоваться исходя из понимания процессов развития общества, потребностей общественной практики позволяют ориентироваться и представлять как перспективы развития науки вообще, так и своей в частности. Понимание этой взаимосвязи наук, тенденции их развития, плодотворности применения приемов и методов исследования одной науки к решению проблем другой способствует успеху научной деятельности химика.

Но владение диалектическим методом, философией марксизма-ленинизма вообще, важно не только для научного познания. Это необходимо для решения самого широкого круга вопросов, касающихся практически всех сторон человеческой деятельности. Облик общества определяется производством, которое в наш век является технологическим применением науки. Следовательно, внедрение в практику, использование любого крупнейшего открытия, как, например, атомной энергии, имеет боль-

шое общественное значение, влечет за собой социальные последствия. Физика и химия могут научить тому, как освободить атомную энергию. Но они не могут дать ответа, как ее правильно использовать на благо человека. Для этого надо знать законы общественного развития.

Именно поэтому глубокое знание материалистической диалектики как науки о наиболее общих законах развития природы, общества и мышления, как метода не только научного познания, но и революционного преобразования мира необходимо для любого ученого и инженера, стремящегося к сознательной творческой деятельности в интересах общего прогресса.

Современная наука, техника, общественная жизнь развиваются целеустремленно. Они планируются далеко вперед, направлены в будущее. Но чтобы построить это будущее, надо знать, что создавать и каким путем идти к этому. Такие знания дает научная философия. Последняя, наконец, способствует гармоничному развитию личности, такой личности, которая способна по достоинству оценить достижения людей во всех областях деятельности, которая отдает себе отчет о перспективах и нуждах общества. Такая личность сознательно и активно служит делу прогресса, делу победы коммунизма.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 75 к.




ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ ХИМИИ